



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Hendrik Elias**

**JÄRKAMISLIINI OPERAATORI TÖÖAJA ANALÜÜS  
PUIDUTÖÖSTUS ETTEVÕTTE NÄITEL**

**ANALYSIS OF OPERATOR WORKING TIME ON  
CROSSCUTTING LINE: A CASE STUDY AT THE WOOD  
INDUSTRY COMPANY**

Magistritöö  
Metsatööstuse õppekava

Juhendajad: professor Andres Kiviste  
Teadur Allar Padari

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö / Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Hendrik Elias		Õppekava: Metsatööstus	
Pealkiri: Järkamisliini operaatori tööaja analüüs puidutööstus ettevõtte näitel			
Lehekülgi: 69	Jooniseid: 26	Tabeleid: 19	Lisasid: 3
Osakond: Metsatööstus Uurimisvaldkond: Metsatööstus Juhendaja(d): professor Andres Kiviste, teadur Allar Padari Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2017			
<p>Antud magistritöö uurib puidutööstusettevõtte Peetri Puit OÜ operaatori tööaja kasutust tehnoloogilisel tootmisliinil. Tehnoloogilise tootmisliini töö tagamiseks tuleb operaatoril põhitöö kõrvalt lahendada kõikvõimalikud ettejuhtuvad probleemid. Uuringu eesmärk on selgitada välja ajakulu erinevat tüüpi seisakutest põhjustatud probleemide lahendamiseks ning hinnanguline mõju tootmisefektiivsusele abioperaatori töölerakendamisel. Töös kasutati operaatori tööaja kronometreerimisel saadud andmeid. Edasisel andmetöötlusel käsitleti eraldi operaatori põhitööaega ning kõikvõimalike abitööde teostamiseks ning seisakute ja tõrgete lahendamiseks kuluvat aega. Nõ mitte põhitööaja tegevuste selgitamiseks kasutati kahetasemelist operaatori tegevuste klassifitseerimist.</p> <p>Andmetöötlemise tulemusel selgus, et operaatori põhitööaja osatähtsus kogu tööajast on <math>\approx 45\%</math>. Abioperaatori töölerakendamisel väheneks seisakutele kuluv aeg hinnanguliselt <math>\approx 38\%</math>. Antud magistritöö jätkuuringuks võiks olla ettepanekute tegemine tehnoloogiliste lahenduste leidmiseks ning selle majanduslik põhjendatus.</p>			
Märksõnad: kronometreerimine, põhitööaeg, tooted, tootmisprotsess			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		<b>Abstract of Master's Thesis</b>	
Author: Hendrik Elias		Specialty: Forest Industry	
Title: Analysis of Operator Working Time on Cross Cutting Line: A Case Study at a Wood Industry Company			
Pages: 69	Figures: 26	Tables: 19	Appendixes: 3
Department: Forest Industry Field of research: Forest Industry Supervisors: professor Andres Kiviste, researcher Allar Padari Place and date: Tartu, 2017			
<p>The thesis explores operator time use at the working-technological production line of the wood industry company Peetri Puit OÜ. The technological production line operator has to solve several types of problems when operating. The study was aimed to find out distribution of operator working time by different types of stops and the potential effect of employment of co-operator to production efficiency. The analysis is based on data obtained from stopwatch study of line operator work. Analysis of operator main working time and time of all kinds of incidental items was carried out separately. A two-level classification of operator activities is elaborated.</p> <p>Data processing revealed that the operator main working time is <math>\approx 45\%</math> of total working time. Co-operator employment can reduce working time <math>\approx 38\%</math>. This study can to be developed by elaborating proposals for technological solutions and economic analysis.</p>			
Keywords: stopwatch study, efficient working time, products, manufacturing process			

## Sisukord

TERMINID.....	5
SISSEJUHATUS.....	7
1. ETTEVÕTE PEETRI PUIT OÜ.....	8
2. ETTEVÕTTES PEETRI PUIT OÜ VALMISTATAVAD TOOTED .....	10
2.1. Sõrmjätkatud konstruktsioonpuuit (KVH) .....	10
2.1.1. Sõrmjätkatud konstruktsioonpuuidu (KVH) täpsem tutvustus.....	11
2.2 Lamellkihtpuuit ehk DUO – TRIO tooted.....	14
2.2.1. Lamellkihtpuuidu DUO – TRIO toodete tutvustus .....	15
2.3 Liimpuit .....	17
2.4 Liimpuitpaneelid (kilbid).....	19
2.5 Ristkihtpuuit (CLT) .....	20
3. TOOTMISPROTSESSI KIRJELDUS .....	21
4. MATERJAL JA METOODIKA.....	27
4.1. Andmete kogumine ja salvestamine .....	27
4.2. Salvestatud andmetabelite esmane töötlemine .....	28
4.3. Statistiline andmeanalüüs .....	32
5. TULEMUSED JA ARUTELU .....	35
5.1 Aeg operaatori põhitööks .....	35
5.2. Seisakutele kulunud aeg .....	40
5.2.1. Tehnilistest probleemidest põhjustatud seisakud .....	41
5.3. Abioperaatori osatähtsus .....	50
Kokkuvõte .....	52
VIIDATUD KIRJANDUS .....	53
ANALYSIS OF OPERATOR WORKING TIME ON CROSS CUTTING LINE: A CASE STUDY AT THE WOOD INDUSTRY COMPANY .....	55
LISAD .....	56
Lisa 1. Järkusliini seadmete tehnilised andmed.....	57
Lisa 2. Järkusliini operaatori tööaja kronometreerimise <i>Visual Basicu</i> (VBA) makro <i>MS Exceli</i> keskkonnas kasutamiseks .....	59
Lisa 3. Järkusliini operaatori tööaja andmeanalüüsi R skript.....	62

## TERMINID

*die Abmessung* – mõõtmine  
*die Anforderung* – nõue  
*die Anmerkung* – märkus  
*der Ast* – oks  
*der Aufwand* – kulutus  
*der Balken* – tala  
*das Balkenschichtholz (Duobalken und Triobalken)* – tala kihtpuit  
*die Baumkante* – poomkant  
*das Bauprodukt* – ehitusmaterjalide kasutamisel saadud tulemus  
*der Baustoff* – ehitusmaterjal  
*das Bauteil* – ehitusdetail  
*der Besteller* – tellija  
*der Betrieb* – ettevõte  
*die Bohle* – plank (paksus vähemalt 40 mm ning laius vähemalt kolmekordne paksus)  
*das Brett* – laud (paksus kuni 40 mm ning laius vähemalt 80 mm)  
*das Brettschichtholz* – liimpuit  
*deutsche Industrie Norm (DIN)* – Saksamaa tööstus norm  
*die Dimension* – mõõde  
*der Einbau* – sisseehitamine, - seadmine, paigaldamine  
*der Einsatz* – kasutus, rakendus  
*der Einschnitt* – lõige  
*entsprechen* – järgima  
*fasen* – faasima  
*die Faser* – kiud  
*die Festigkeitsortierung* – tugevussorteerimine  
*formstabil* – kujukindel, mõõdustabiilne  
*das Gebäude* – ehitis  
*die Harzgalle* – vaigupesa  
*die Herstellung* – tootmine  
*herzgetrennt* – südamikulõige  
*hobeln* – hõõveldama  
*der Holzbau – Bauwerk aus Holz* - ehitis puidust  
*die Holzfeuchte* – puiduniiskus  
*i.d.R – in der Regel* – tavaliselt  
*der Insektenbefall* – putukkahjustus  
*insektenunempfindlich* – tundetu putukkahjustustele  
*der Klebstoff* – liim  
*das Kantholz* – pruss  
*die Keilzinkenverbindung* – hammastapp ühendus  
*das Konstruktionsvollholz* - konstruktsioonpuit  
*die Längskrümmung* – kõverus  
*der Lieferant* – hankija  
*die Markröhre* – säsi  
*das Maß* – mõõt, mõõde

*die Maßhaltigkeit* – toodangu mõõdustabiilsus  
*die Neigung* – kalle  
*nicht sichtbarer Bereich (Nsi)* – mittenähtava puidu pinnakvaliteediga otstarve  
*die Optik* – väljanägemine  
*die Produkteigenschaft* – toote omadus  
*der Querschnitt* - ristlõige  
*die Rinde* – koor  
*der Riss* – lõhe  
*die Rissbildung* – lõhede moodustumine  
*der Rohbalken* – palk  
*das Schnittholz* – saematerjal  
*sichtbarer Bereich (Si)* – nähtava puidu pinnakvaliteediga otstarve  
*das Sortiermerkmal* – sorteerimis tunnus  
*der Span* – laast  
*Stand der Technik* – tehnilised oskused, oskusteave  
*technische Trocknung* – tehniline kuivatamine  
*die Tragfähigkeit* – kandejõud  
*die Verdrehung* – keerdumus  
*die Vereinbarung* – kokkulepe  
*das Verfahren* – meetod  
*die Verfärbung* – värvus  
*das Vollholz* – täispuit  
*das Vorhaben* – plaan, kavatsus  
*die Vorschrift* – eeskiri, määrus  
*die Wärmebrücke* – külmasild  
*die Wärmedämmung* – soojapidavus  
*die Wärmeleitfähigkeit* – soojusjuhtivus  
*der Wuchs* – kasv, kuju  
*die Überwachung* – järelvalve  
*die Zimmerarbeit* – tiseritöö  
*die Zulassung* – luba, volitus  
*die Zuordnung* – määramine  
*der Zweck* – kasutus, otstarve

## SISSEJUHATUS

Antud magistritöö on koostatud Põlvamaa ühe suurema puidutööstus ettevõtte Peetri Puit OÜ kohta. Peetri Puit OÜ asub endises Põlva KEK-i piirkonnas, kus tegutsevad mitmed teisedki ettevõtted (puidutööstus ettevõtted AS Liimpuit ja Alcantra OÜ, pagari – ja kondiitritoodete valmistaja AS Lõuna Pagarid jt), mistõttu on tegemist olulise tööstuspaigaga Põlva vallas. Peetri Puit OÜ tegeleb sõrmjätkatud konstruktsioon-, liim- ning ristkihtpuidu tootmisega.

Antud magistritöös on uurimisobjektiks tehnoloogiline tootmisliin ettevõttes Peetri Puit OÜ. Uuritaval järkamisliinil ehk kõnekeeles ka järkusliinil toodetakse saematerjalist sõrmjätkatud materjali ning puitlamelle. Sõrmjätkatud materjalist valmistatakse konstruktsioonpuitu ning puitlamellidest liim- ning ristkihtpuitu. Tootmistöö järkamisliinil toimub kolmes vahetuses. Peetri Puit OÜs on töö kolmes vahetuses ainult järkamisliinil. Nädalavahetus on puhkeaeg kõigile töötajatele. Ettevõtte toodang sõltub suurel määral järkamisliini töö efektiivsusest, mida rohkem saab järkamisliini operaator teha oma põhitööd (saematerjali visuaalset kontrolli), seda enam on võimalik valmistada toodangut edasiseks töötamiseks. Operaator töötab oma vahetuses järkamisliinil üksi. Lisaks põhitööle on tarvis täita mitmeid teisi ülesandeid, sealhulgas kõrvaldada tehnilised tõrked. Hommikuse või õhtuse vahetuse operaatoril on eelis, sest siis saavad kaastöötajad teda aidata. Öise vahetuse operaator peab lahendama kõik tööülesanded üksi.

Käesoleva magistritöö ülesandeks oli analüüsida järkamisliini operaatori tööaja kasutamist ettevõttes Peetri Puit OÜ eesmärgiga tõsta tootmisliini töö efektiivsus, sealhulgas selgitada välja abioperaatori vajalikkus.

Täna ettevõtte Peetrile Puit OÜ juhatuse esimeest Peeter Peedomaad ülesande püstituse, vajaliku dokumentatsiooni, igakülgse nõustamise ja toetava suhtumise eest. Samuti tänan Heiki Tomanni ja Jüri Olti tehniliste nõuannete eest.

# 1. ETTEVÕTE PEETRI PUIT OÜ

Ettevõtte Arcwood by Peetri Puit (varasemalt tuntud Peetri Puit) alustas tootmistegevust 2002. a sõrmjätkatud konstruktsioonpuidu tootmisega. Ettevõtte tootevalik on laienenud tänu puidu kasutusvõimaluste kasvule nii sise - kui välisturul. Ettevõtte on oma tootmistegevuse suurendamiseks pidevalt teinud investeeringuid:

- liimpuidu tootmise käivitamine 2003. a;
- olemasoleva tootmishoone renoveerimine ja juurdeehituse rajamine 2005. a;
- välilaopinna suurendamine 2006. a;
- tehnoloogilise liini uuendamine 2007. a;
- CNC töötlemiskeskuse soetamine 2010. a;
- liimpuittalade nelikanthöövli soetamine 2011. a;
- ristkihtpuidu tootmisega alustamine 2014. a.

Ettevõtte valis oma uueks brändinimeks Arcwood by Peetri Puit 2012. aastal. Ettevõtte Peetri Puit OÜ alustas tootmistegevust 5 töötajaga ning kõigest aastaga oli kasvanud töötajate arv neljakordseks. 2005. aastal jõuti 33 töötajani. Praegusel ajal on firmas tööl 50 tootmistöölist.

Kuna nõudlus insenerpuidule on kasvanud, rajas ettevõtte uue kaasaegse tootmiskompleksi, mis on võimaldanud laiendada liim- ning ristkihtpuidu tootmisvõimalusi (Põlva liimpuidufirma...2016). Lähitulevikuks on prognoositud on kuni 20 uue töökohta tekkimist ning tootmismahu kolmekordset kasvu (Allas 2016).

Ettevõtte omab mitmeid euroopa sertifikaate, millest olulisemaks on FSC puiduringlus ahela sertifikaat. Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit eksporditakse suures osas Saksamaale, liimpuit leiab kasutust Prantsusmaa, Hispaania, Läti ja Leedu turul. Ligikaudu pool toodangust jääb Eestisse. Ettevõtte on saanud mitmeid tunnustusi (Sertifikaadid. Tooted. Avaleht...2017):

- saanud mitmetel kordadel kõrgeid kohti ajalehe Äripäev maakonna TOP edetabelis;
- eduka eesti ettevõtte tunnistus 2010. ja 2011. a;



- olnud finalist Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus (EAS) Aasta Uuendaja konkursis 2014.a;
- uue tootmiskompleksi tunnustamine aasta puitehitise tiitliga.

Peetri Puit OÜ tootmisprotsessi tarneahel on suhteliselt pikk ning selles on hulganisti tehnoloogilisi etappe. Vastavalt vajadusele on palgatud töötajaid mitmetesse ametitesse. Enamusel ametikohtadel käsitletakse mõnda puidutöötlemisseadet. Tootmisprotsessi peamised ametid on järgmised: järkamisliini operaatorid, nelikanthöövli operaatorid, prusside ettetõukajad, liimijad, talahöövli operaator, CNC-operaatorid, puidutöötledjad, viimistledjad, pakkijad. Lisaks on ametis veel mehaanikud, elektrikud, tõstukijuhid, koristajad ning valvurid.

## 2. ETTEVÖTTES PEETRI PUIT OÜ VALMISTATAVAD TOOTED

### 2.1. Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit (KVH)

Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit (*Konstruktionsvollholz* e KVH) on toode standardpikkusega 13 m, mis on saavutatud saematerjali pikijätkamise teel. Ebastandardse pikkusega konstruktsioonpuitu toodetakse eritellimuse alusel. Tabelis 2.1.1. on esitatud toote tehnilised näitajad ning tabelis 2.1.2. mehaanilised omadused. Tabelis 2.1.3. on esitatud antud toote võimalikud ristlõiked.

Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit on neljast küljest hõõveldatud ning faasitud. Toodet kasutatakse ehituses sarikatena, katuseroovidena ning karkassina, samuti põrandade, vahelae ja varikatuse kandjatena. (Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit. Tooted...2017)

**Tabel 2.1.1.** Sõrmjätkatud konstruktsioonpuidu tehnilised näitajad (Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit. Tooted...2017)

Puiduliik	kuusk
Pinnakvaliteet	mittenähtav
Tugevusklass	S 10 / C24
Tootmisstandard	EN 385:2001 ; DIN 68140-1:1998-02
Liim	polüuretaanliim
Puiduniiskus	15 ± 3 %
Sorteering	DIN 4074-1

**Tabel 2.1.2.** Sõrmjätkatud konstruktsioonpuidu mehaanilised omadused (Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit. Tooted...2017)

Tugevusomadused N/mm <sup>2</sup>	
paindetugevus $f_{m,k}$	24
tõmme pikikiudu $f_{t,0,k}$	14
tõmme ristikiudu $f_{t,90,k}$	0,4
surve pikikiudu $f_{c,0,k}$	21
surve ristikiudu $f_{t,90,k}$	2,5
nihe $f_{v,k}$	4,0
Jäikusomadused kN/mm <sup>2</sup>	
keskm. elastsusmoodul pikikiudu $E_{0,mean}$	11
keskm. elastsusmoodul ristikiudu $E_{90,mean}$	0,37
5 % elastsusmoodul pikikiudu $E_{0,05}$	7,4
keskm. nihkemoodul $G_{mean}$	0,69
tihedus $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	350
keskm. tihedus $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	420

**Tabel 2.1.3.** Sõrmjätkatud konstruktsioonpuidu saadaolevad ristlõiked (mm) (Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit. Tooted...2017)

Kõrgus								
Paksus	100	120	140	160	180	200	220	240
60	x	x	x	x	x	x	x	x
80		x	x	x	x	x	x	x
100	x			x	x	x		x
120		x		x	x	x		x

### 2.1.1. Sõrmjätkatud konstruktsioonpuidu (KVH) täpsem tutvustus

Konstruktsioonpuit (*Konstruktionsvollholz* e KVH) on spetsiaalne ehitusmaterjal, mida kasutatakse puitehituses. KVH on tehniliselt kuivatatud, tugevussorteeritud ning reeglina sõrmjätkatud täispuit toode okaspuidust. KVH lõike ning väikese puiduniiskuse tõttu paindub see lõhede tekkimisel vähe, on oma mõõtmete suhtes stabiilne ning seda saab kasutusele võtta ilma keemilist puidukaitset kasutamata. KVH on saadaval erinevate ristlõigete - ja puiduliikide - (kuusk, nulg, mänd, lehis või ebatsuuga) ning pinnakvaliteetidega. (*Konstruktionsvollholz KVH – exakt...2017*)

KVH kasutuseelisteks on:

- ehituselemendi ristlõige on saadaval maks 140/260 mm;
- mõõdustabiilne tehniliselt kuivatatud niiskussisalduse  $15 \pm 3$  % juures ning südamiku lõike puhul;

- saadaval kahe puidu pinnakvaliteediga:
  - nähtav;
  - mittenähtav;
- täidab kõrgeid nõudeid võrreldes sorteerimismisnormiga DIN 4074 – 1 või teiste euroopa sorteerimismisnormidega;
- väikesed tootmiskulud;
- vastupidavus putukakahjustustele on saavutatav läbi tehnilise kuivatamise;
- järgides nõuet DIN 68800-2 on võimalik loobuda keemiliste puidukaitsevahendite kasutamisest;
- sobiv kasutamiseks puitmaja ehituses.

Nõuded konstruktsioonpuidule reguleerivad lisaks tavalistele euroopa sorteerimiseeskirjade nõuetele mitte ainult kindlaid KVH tugevusomadusi vaid ka selle kindlaksmääratud väljanägemist. Nii on lubatav maksimaalne puiduniiskus 18 % peamiste rahvusvaheliste tootmismisnormide seas. Puidu väljanägemise kvaliteedi definitsioon on rohkem määratletud ning omab enam kriteeriume.

Moodsates puitehitustes on puiduniiskus üle 18 % vähe sobiv, euroopa maades nagu Saksamaal pole sellise niiskusega puit üldse lubatav. Saematerjal KVH tootmiseks kuivatatakse tehniliselt puiduniiskuseni  $15 \pm 3$  %. KVH eripära seisneb saepalkide lahtilõikamise viisis, millega lõigatakse saematerjalist välja see osa, milles võivad tekkida lõhed. Nii saavutatakse KVH suur mõõdukindlus ning vastupidavus pöördejõule.

KVH on reeglina sorteeritud tugevusklassidesse saksa sorteerimiseeskirja DIN 4074 järgi. Saksa sorteerimismisnorm täidab euroopa normi nõudeid tugevussorteerimise EN 14081 – 1 jaoks. Saksa sorteerimiseeskirja DIN 4074 järgi sorteeritakse KVH saksa sorteerimisklassi S 10 TS. Euroopa normi EN 1912 järgi sorteeritakse KVH tugevusklassi C24. Kokkulepped KVH kohta lubavad ka sorteerimist teistesse euroopa sorteerimismisnormidesse, kui määramine on võimalik euroopa tugevusklassideks.

Kuivõrd, kas konstruktsioonpuitu võetakse kasutusele vaid oma mõõdukindluse ja väikese materjaliniiskuse tõttu või soovitakse lisaks ka kvaliteetset väljanägemist, saab valida mõlema kättesaadava väljanägemise klassi KVH – Si (nähtav rakendus) ja KVH Nsi (mittenähtav rakendus) vahel. Nähtava rakenduse jaoks määratakse ära oksa suurus, oksa

tüüp, puukoore sisaldus ning lõhede laius. Mõlemad sortimendid on reeglina sõrmjätkatud. Läbi värvineutraalse liimi kasutamise on ühenduskohad vaevu märgatavad ning säilib puidu pinna loomulik esteetika. (Vorteile der Verwendung...2017)

Tehnilised reeglid sõrmjätkatud konstruktsioonpuidule määratakse saksa tööstus normiga (*deutsche Industrie Norm - DIN*) DIN EN 15497 : 2014 – 07. See norm kehtestab nõuded omakorda mitmete teiste saksa tööstus normidega, mis peamiselt määratlevad KVH kasutamise puitehituses ning kandvas konstruktsioonis. (Technische Regeln. Konstruktionsvollholz...2017)

Lisaks ehitusjärelvalve nõuetele on kindlaks määratud kvaliteedi kriteeriumid KVH-le, mis pandi paika esimest korda 1995. a sõlmitud kokkuleppes. Neid kriteeriume on sellest ajast alates pidevalt uuendatud. Lõhede ja kujumuutuste minimeerimiseks puidu kokkutõmbumise tõttu kuivamisel reguleeritakse puiduniiskus ning lõikeviis. KVH kvaliteedi kriteeriumites on hulganisti sorteerimistunnuseid, mis peamiselt määratlevad KVH lubatavad puidurikked. Kvaliteedi kriteeriumite nõuetes eristatakse nähtava ja mittenähtava otstarbega KVH. Lisaks on nendes kriteeriumites hulganisti märkusi. (Anforderungen an Konstruktionsvollholz...2017)

KVH valmistatakse reeglina kuusepuidust. Võimalik on kasutada ka teisi puuliike : nulg, mänd, lehis või ebatsuuga. Teised okaspuuliigid on KVH tootmise jaoks lubatud vastavalt saksa tööstusnormi DIN EN 15497 või DIN EN 14081 – 1 järgi, kuid need puuliigid pole tavapärasel kasutuses. (Holzarten. Weitere Eigenschaften...2017)

KVH tootmisel tohib põhimõtteliselt kasutada kahte erinevat liimitüüpi:

- PUR (*Polyurethandlebstock*) – polüuretaan liim;
- MUF (*Melamin – Harnstoff – Formaldehyd*) – melamiin liim.

Nende liimi variantide eeliseks on kiire kõvenemine ning läbipaistev liimivuuk. Liimivuugid on väga peened (ca. 0,1 – 0,3 mm), liim väga tunduvalt keemiliste mõjutuste suhtes. (Verklebung. Weitere Eigenschaften...2017)

KVH on kestev, ökoloogiline ja tervislik. KVH toodetakse vaid okaspuuidust euroopa püsivalt majandatavatest metsadest. Puidu kuivatamiseks saab kasutada taastuvat energiat. Tänu puidu headele töötlemisomadustele on töötlemiseks vajalik energia kogus väike. Loomulikud ja tervise sõbralikud ehitusmaterjalid on tähtsaks eelduseks moodsas

ehitusplaanis. KVH tagab tervisliku ruumi kliima. Puidul on teiste konstruktsioon ehitusmaterjalide suhtes nagu teras või betoon väga väike soojusjuhtivus. Kandvad konstruktsioonpuidud KVH välisseina- või katusekonstruktsioonis omavad vähest soojusjuhtivust, vähendades sellega külmasilda ning võimaldavad sellega energiaefektiivset ehitust. Moodsate puitehitiste peamiselt kõrge soojapidavus nõuab tuule- ning õhutihedat ehitise katet. Sisemise õhutiheduse tagamiseks peavad ehitusdetailid sisseseadmisel olema mõõdustabiilsed ning sisseseadmise järgus (etapis) ei tohi esineda lõhesid. Lõigete arvu, sobiva töötlemise ja maksimaalse puiduniiskuse 18 % tõttu on KVH määratud kasutamiseks passiiv- ja energiasäästumajades. (Ökologie und Wohngesundheit...2017)

## 2.2 Lamellkihtpuit ehk DUO – TRIO tooted

Tegemist on ehituspuiduga, mis koosneb kahest või kolmest kokkuliimitud lamelist. DUO – TRIO talad sarnanevad kasutuselalt sõrmjätkatud konstruktsioonpuiduga, kuid on paremate mehaaniliste omadustega. Seetõttu saab neid kasutada kandvas konstruktsioonis. DUO – TRIO kasutatakse:

- Vahelaetalad, sarikad
- Tugipostid, sillused, pärliinid
- Terrassi – ja rõdukonstruktsioonid

Toode on levinud eramuehituses. Tabelis 2.2.1. on esitatud tehnilised näitajad ning tabelis 2.2.2. pakutavad ristlõiked. (DUO – TRIO. Tooted...2017)

**Tabel 2.2.1.** DUO - TRIO tehnilised parameetrid (DUO – TRIO. Tooted...2017)

Puiduliik	enamasti KU
Standard	EN 14080
Liim	melamiinliim
Puitlamelli niiskussisaldus	enamasti 12 %
Standardpikkus (m)	13
Pinnakvaliteet	nähtav/mittenähtav

**Tabel 2.2.2.** Saadaolevad ristlõiked (mm) (DUO – TRIO. Tooted...2017)

Kõrgus	120	140	160	180	200	220	240
Paksus							
120	x		x	x	x	x	x
140		x					
160			x	x	x	x	x
180				x	x	x	x

220 mm ning muu pikkusega toodet valmistatakse eritellimusel.

### 2.2.1. Lamellkihtpuidu DUO – TRIO toodete tutvustus

DUO - TRIO talad on tööstuslikult valmistatavad tooted, mis koosnevad kahest kuni viiest lamedapoolsest, kiududeparalleelselt üksteisega kokku kleebitud lamelist või kantpuidust. Talakihtpuit valmistatakse normi DIN EN 14080 : 2013 järgi, peamised ristlõiked tavalise ehitus järelvalve volituse Z 9.1-440 järgi. Esineb mitmeid väljendid : lamellpuit, lamelltalad, liimpuit, mis tuleb eristada segiajamise vältimiseks teiste toodetega. Tootmismeetod järgib lamellkihtpuitu, mille juures suured üksikristlõigetega lamellid üksteisega kokku liimitakse.

Lamellkihtpuit on väga kujukindel ja suures osas minimeeritd lõhede tekkega ehitusmaterjal. Kõrge kujustabiilsuse ja väikese puiduniiskuse tõttu on lamellkihtpuit peamiselt sobiv puitmaja ehituseks. (Duobalken und Triobalken...2017)

Lamellkihtpuidu DUO - TRIO talade eelised: (Vorteile von Balkenschichtholz...2017)

- võrreldes KVH-ga on ristlõiked suuremad kuni 28/28 cm (järgnevad ristlõike mõõtmed on võimalikud üldise ehitusjärelvalve volituse Z – 9.1 – 440 alusel);
- mõõdukindel maks 15 % tehniliselt kuivatatud puiduniiskuse juures;
- vähesed liimivuugid lamellkihtpuidus (maks 2), liimivuugid vaevu nähtavad;
- saadaval kahe puidu pinnakvaliteediga:
  - nähtav otstarve (Si);
  - mittenähtav otstarve (NSi);
- kõrgemad jäikusomadused sama tugevusklassi täispuidu suhtes;

- pole vastuvõtlik putukkahjustustele suhtes, võimalik loobuda keemilisest puidukaitsesest;
- majanduslikud eelisriistlõiked ja –pikkused kuni 13 m laos kiirelt saadaval, suuremad pikkused võimalikud vastavalt nõudlusele.

DUO – TRIO talade tootmiseks ja kasutamiseks on kehtestatud hulganisti tehnilisi reegleid. Peamine norm on DIN EN 14080 : 2013 – 08 – puitehitised – lamellkihtpuit ning talakihtpuit. Selles normis pannakse paika nõuded DUO – TRIO taladele omakorda teiste DIN normidega, mis reguleerivad näiteks puittoodete kasutuse puitehituses, kandvas konstruktsioonis ning puidu sorteerimise tõmbetugevuse järgi. DUO – TRIO talad, mis pole DIN EN 14080 : 2013 reguleeritud, määratletakse üldises ehitusjärelvalve volituses Z – 9.1 – 440. Selles volituses on omakorda mitmed teised normid, näiteks : puitehitiste plaan, arvestus ja mõõtmine, puidu sorteerimine tõmbetugevuse järgi, ehituspuit kandvaks otstarbeks – mõõtmed, lubatavad kõrvalekalded jne. (Technische Regeln. Technische...2017)

Lisaks ehitusjärelvalve nõuetele on kvaliteedi kriteeriumid DUO – TRIO talade jaoks esimest korda kindlaks määratud 2003. aastal. Lõhede ja kujumuutuste minimeerimiseks puidu kokkutõmbumisel selle kuivamisel reguleeritakse puiduniiskus ja lõikeviis. Edasised kriteeriumid reguleerivad ennekõike puidu mõõdukindlust ja välimust. Nõuded DUO – TRIO taladele on paika pandud vastavalt üldisele saksa instituudi ehitusjärelvalve volitusele ehitustehnika Z – 9.1 – 440 järgi. Sarnaselt KVH –le kehtestatud nõuetega, on peamisteks sorteerimistunnusteks DUO – TRIO talade puhul lubatavad puidurikked. Nendes nõuetes eristatakse nähtava ja mittenähtava kvaliteediga otstarvet ning esineb hulganisti märkusi. (Anforderungen an Duobalken...2017)



## 2.3 Liimpuit

Liimpuit koosneb omavahel kokku liimitud sõrmjätkatud puitlamellidest. Olenevalt puitlamellide arvust võib saavutada toote mõõtmetega, mis varieeruvad suures ulatuses. Seepärast on liimpuidul võrreldes sõrmjätkatud konstruktsioonpuiduga enam kasutusvaldkondi: (Liimpuit. Tooted. Avaleht...2016)

- vahelaetalad;
- ematalad ja põhikandjad katusekonstruktsioonides;
- sarikad;
- varikatuste konstruktsioonelemendid;
- terrassi – ja rõdukonstruktsioonid;
- sillused;
- tugipostid.

Liimpuidu tootmistehnoloogia töötati välja Saksamaal 20. sajandi alguses. Liimpuidu tootmisel kasutatakse ära nn lamelleerimis – e ühtlustamisefekti. See tähendab, et näiteks ühe kindla liimpuittala tootmisel saab puidurikked (näiteks oksad) jaotada laiali mitmesse ristlâbilõike pinda. Sel meetodil saavutatakse toote kõrgemad tugevusomadused. (Saarman, Veibri 2006)

Tehnilised näitajad toote kohta on esitatud tabelis 2.3.1. Standard ristlõiked on antud tabelis 2.3.2. ning tabelis 2.3.3. on antud liimpuidu mehaanilised omadused.

**Tabel 2.3.1.** Liimpuittoote tehnilised näitajad (Liimpuit. Tooted. Avaleht...2016)

Liimpuittoote tüüp	lamell – liimpuit
Puiduliik	enamasti KU
Standard	EN 14080
Liim	melamiinliim
Puitlamelli niiskussisaldus	enamasti 12 %
Puitlamelli paksus (mm)	40 (45)
Toote pikkus (m)	1 – 30
Toote kõrgus (m)	maks. 2,3

**Tabel 2.3.2.** Liimpuittoote standard ristlõiked (mm) (Liimpuit. Tooted. Avaleht...2016)

Kõrgus	120	140	160	180	200	220	240	260	280	320	360	400	440
Paksus													
60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
80	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
100	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
120	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
140		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
160			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
180				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
200					x	x	x	x	x	x	x	x	x
220						x	x	x	x	x	x	x	x
240							x	x	x	x	x	x	x

Liimpuidu ristlõike kõrgused üle 440 mm jätkuvad 40 mm sammuga kuni 2,3 m-ni.

**Tabel 2.3.3.** Liimpuidu mehaanilised omadused (Liimpuit. Tooted. Avaleht...2016)

Tugevusomadused N/mm <sup>2</sup>				
paindetugevus	$f_{m,g,k}$	24	28	32
tõmbetugevus	$f_{t,0,g,k}$	19,2	22,3	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5	0,5	0,5
survetugevus	$f_{c,0,g,k}$	24	28	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5	2,5	2,5
nihketugevus	$f_{v,g,k}$	3,5	3,5	3,5
Jäikusomadused N/mm <sup>2</sup>				
elastsusmoodul	$E_{0,g,mean}$	11500	12600	14200
	$E_{0,g,05}$	9600	10500	11800
	$E_{90,g,mean}$	300	300	300
nihkemoodul	$G_{g,mean}$	650	650	650
tihedus kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{g,k}$	385	425	440

## 2.4 Liimpuitpaneelid (kilbid)

Liimpuitpaneeli toodetakse sarnaselt liimpuiduga lamellide kihilise liimimise teel. Paneeli kasutusalaadeks on: (Liimpuitpaneelid. Tooted. Avaleht...2016)

- vahelaed;
- põrandad;
- seinad;
- katused.

Andmed toote tehniliste näitajate kohta on esitatud tabelis 2.4.1.

**Tabel 2.4.1.** Liimpuitpaneeli tehnilised andmed (Liimpuitpaneelid. Tooted. Avaleht...2016)

Puiduliik	KU
Tootmisstandard	DIN 1052 ; EN 14080:2005
Liim	melamiinliim
Toote pikkus (m)	maks. 29,5
Toote laius (mm)	920(905), 960(945), 1000(985), maks. 2300

## 2.5 Ristkihtpuit (CLT)

Ristkihtpuit (ingl *Cross Laminated Timber*) kujutab endast puitplaati, mille kihid on valmistatud sõrmjätkatud puitlamellidest ning on omavahel vaheldumisi risti kokku liimitud. Nii suureneb plaadi jäikus ja tugevus ning selle mõõtmed püsivad stabiilsemana puiduniiskuse muutuste korral. Kihte on plaadis 5, harvem 3 või 7. CLT on kaasaegne, mitmete kasutusvõimalustega ehitusmaterjal, mida kasutatakse seintes, vahelagedes ning katustes. Tänu oma suhteliselt suurele pindalale on võimalik lühendada monteerimisaega ehitusobjektidel. Tehnilised andmed ristkihtpuidu kohta on esitatud tabelis 2.5.1. (CLT Ristkihtpuit. Tooted. Avaleht...2016)

**Tabel 2.5.1.** Ristkihtpuidu CLT tehnilised andmed (CLT Ristkihtpuit. Tooted. Avaleht...2016)

Max mõõtmed (m)	3,5x15
Paneeli paksus (mm)	60 - 300
Lamelli paksus (mm)	20, 30 või 40
Pinnakvaliteet	nähtav/mittenähtav
Lamelli tugevusklass	C24, C16
Liim	polüuretaanliim

Kasutusala: (CLT Ristkihtpuit. Tooted. Avaleht...2016)

- tööstus – ja ärihooned;
- eramud;
- ühiskondlikud hooned;
- hotellid ja restoranid.

### 3. TOOTMISPROTSESSI KIRJELDUS

Toomaterjalina kasutatakse peamiselt hariliku kuuse saematerjali, vähesel määral hariliku männi ning siberi lehise puitu. Saematerjali kulub aastas ligikaudu 30 000 m<sup>3</sup>. Kolmveerand tarnitavast saematerjalist ostetakse sisse märjana ning ettevõtte oma kuivatis kuivatatult ladustatakse välitingimustesse rajatud varjualustes. Tarnitakse vaid FSC-sertifikaadiga saematerjali.

Tootmisse suunamiseks transporditakse saematerjali pakk kuivatist või varjualusest tõstukiga tehnoloogilisele liinile, mida nimetatakse järkamis- e järkusliiniks. Järkamisliin algab riskett–transportööriga, millel pakk liigub tootmishoonesse läbi spetsiaalse ukse. Järgnevalt pöörab pakilammutaja paki kaldasendisse ning tõstab selle kaldteed pidi ülespoole tasapinnani, mida mööda saematerjal langeb etteveo kettidele. Staablilippidega paki puhul langevad lipid etteveo kettidelt alla lipi transportöörile, mis viib need lipikolule, millelt langevad lipid põrandale. Staablilipid tõstetakse spetsiaalsele kärule.

Etteveo ketid transpordivad saematerjali spetsiaalsele hindamise alusele, millel operaator märgib puidurikete asukohad saematerjalil spetsiaalse fluorestsentskriidiga. Seejärel langetab operaator tooriku hindamise aluselt alla etteveo rullteele, mis transpordib selle automaatsesse kappsaagi (joonis 3.1). Hindamisalusel asub ka puidu niiskustugeja, mis mõõdab iga saematerjali laua niiskussisaldust.



**Joonis 3.1.** Automaatne kappsaag tüüp SMB KK-700

Automaatses kappsaes asub kuus alumist rihveldatud veorullikut ning kuus ülasurve rullikut, mis suundudes ühe kaupa tööeseme pinnale, fikseerivad selle korrektse asendisse. Ülasurve rullikud on vertikaalsuunas seadistatavad. Seejärel teostab saag ühepoolset automaatse tööeseme algotsamist. Kui operaator pole puidurikkeid tuvastanud, teeb saag algotsamisele analoogselt tööeseme lõppotsamise. Kui esineb puidurikkeid, kapib automaatne kappsaa need välja. Automaatses kappsaes asuvad fotosilmad, mis tuvastavad operaatori poolt kriidiga märgitud puidurikete asukohad ning seade kapib need automaatselt. Kappimislõike võib kriidimarkeeringust kõrvale kalduda ( $\pm 1$  cm). Automaatse kappsae lõikeinstrumendiks on ketassaag. Automaatse kappsae põhiandmed on kuvatavad arvuti monitoril (joonis 3.2.). Samuti on võimalik PC - arvutist välja võtta erinevaid raporteid ning andmeid tootlikkuse kohta. Kappsae eendekiirust on võimalik sujuvalt reguleerida programmeerimise teel ning tänu Servo – vahelduvvoolu mootorile. Automaatse kappsae tööd juhib seade tüüp OECO – Tronic. Vibratsioonivaba seadmekorpus on tugevas teraskonstruktsioonis. Mürasummutus on saavutatud müra summutava kaitsekatte abil, mis on varustatud vaatlusaknaga. Automaatse kappsae tehnilised parameetrid on lisa 1 tabelis 3. (Anhang Nr. 1)



**Joonis 3.2.** Andmete kuvamine monitoril.

Tööse lükkab kapitud jääkpuidu automaatselt kappsaest välja linttransportööri, mis transpordib selle spetsiaalsesse hoidlasse. Liimpuidu tootmisel on nõutav saematerjali niiskussisaldus 12%, sõrmjätkatud konstruktsioonpuidu puhul peab olema vahemikus 15...16%. Selle jaoks kontrollib niiskustugeja saematerjali ning salvestab saadud tulemused arvutis. Puit, mille niiskussisaldus ei vasta nõuetele (samuti poomkandiga puit), eemaldatakse automaatselt sisseveo rullteelt ning kappimist ei teostata.

Automaatselt kappsaest väljub tööse sisseveo rullteed (*Einlaufrollenbahn*) pidi sõrmjätkuliinile (joonis 3.3.). Sisseveo rullteel asuvad nukkidega varustatud ristketid (*Auswerfernocken*), mis söödavad tööseseme ristsuunas paremale poole tagasiveorullteele (*Rücktransport Rollenbahn*), millel see liigub tagasisuunas löögiga vastu piirajat. Praaktööseseme puhul lükkavad samad ristketid selle teisele poole põrandale. Tagasiveo rullteelt transpordivad sõrmjätkuliini ristketid, mis on varustatud samuti nukkidega (*Nockenkette*) tööseseme ristsuunas freesimisagregaadini. Enne hammastapi freesimist positsioneerivad külgfiksaatorid (*Heb- und Senkbare*) tööseseme, avaldades kogu selle pikkuses mõlemale küljele üksikurve. Siis fikseerib freesi hüdrauliline tald tööseseme paigale ning selle lõikeinstrument freesib ülalt allapoole liikudes hammastapi. Liini ristketid transpordivad tööseseme ülemineku rullteele (*Übergaberollenbahn*), millel see liigub teise freesagregaadini ning toimub esimese freesimisega analoogne hammastapi freesimine tööseseme teise otsa. Sõrmjätkuliini tööd juhib seade tüüp SIEMENS S7. Sõrmjätkuliini tehnilised andmed on antud lisa1 tabelis 1 ning hammastapi freesimisagregaadi kohta käivad parameetrid lisa 1 tabelis 2. (Anhang Nr. 1)

Freesitud hammastappidega töösesemed transporditakse risttransportööri abil puhverkeskusesse, kus tööse positsioneeritakse, seejärel survestatakse ning siis toimub liimi pealekanne hammastapile. Operatsiooni viib läbi liimi pealekande seade. See seade kannab tapiliimi tööseseme hammastapile ühepoolsetl igal töötaktil. Operatsioon on kaamera poolt jälgitav ning igast liimi pealekandmisest jäädvustatakse foto, mis kuvatakse arvuti monitoril. Seejärel on vahepuhver enne pressi, kus hüdraulilised etteande – ja positsioneerimisketid transpordivad liimitud tööseseme tapipressi. (Anhang Nr. 1)



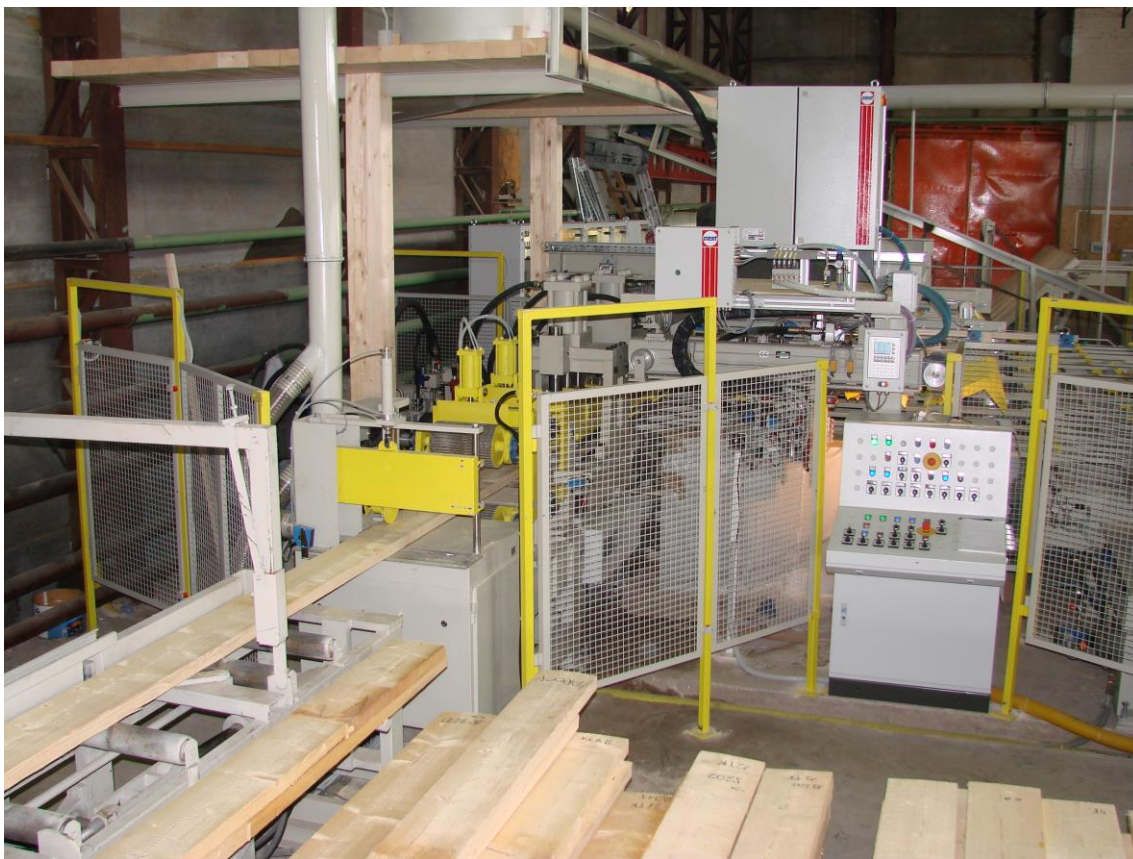


**Joonis 3.3.** Sõrmjätkuliin

Tapipink on seadmete kogum, mis koosneb liimi pealekande seadmest tüüp OEST ECOPUR KB 160-10, tapipressist tüüp KTP - 30/300, väljaveo valtsidest ning pikkus-kappaest tüüp AS-600 (joonis 3.4.). Tehnilised andmed tapipressi ning pikkus-kappaest kohta on lisa 1 tabelis 4 ning -5. Tapipress on seade teras-keeviskonstruktsioonis koos kahe hüdraulilise surveüksusega. Esimene üksus on ühepoolsest avanev, milles toimub tööesemete varustamine ja positsioneerimine sisseveo- ja positsioneerimiskettide abil. See üksus on varustatud pikisuunas liikuva hüdraulilise pressikelguga. Teine surveüksus töötab statsionaarselt. Koos sünkroonselt toimides pressib esimene surveüksus iga töötaktiga eelmisele tööesemele pikkuses hammastappidega ühendades otsa järgmise tööeseme ning algab liimi kuivamisprotsess. Seda valmivat tööesemete jada veavad välja väljaveo valtsid vedavale rullteele. Väljaveo valtsid koosnevad kahest vedavast rihveldatud veorullikute paarist, mis töötavad sagedusjuhtimisega. Veorullikud suunduvad tööesemete jadale pneumaatilise jõuga. Veoülekanne rullikutele toimub kardaanivõlli kaudu. Mõlemal veorullikute paaril on oma ülekaneseade. Pressimise tsüklid toimuvad seni, kuni tööesemete jadast on võimalik välja lõigata nõutud pikkusega sõrmjätkatud materjal. Seda lõikamist teostab kappaag, mis asub peale väljaveo valtse. Sõrmjätkatud materjali juhivad



ärälükkajad väljaveo rullteelt mahapanijale. Mahapanija kogub sõrmjätkatud materjali etteantud koguses üksteise peale ning langetab need lamellide ristlattu. (Anhang Nr. 1)



**Joonis 3.4.** Tapipink

Kui lõpptooteks on sõrmjätkatud ehituskonstruksioonpuit, on selle pooltooteks sõrmjätkatud materjal. Kui toodetakse liimpuitu, nimetatakse selle pooltooteid lamellideks. Lamellide ristlaos toimub liimiühenduse lõplik kõvenemine ning peale seda komplekteeritakse puitmaterjal pakki, mis tõstetakse telfritega lamellide sisseveo rulltee kõrvale. Sellest pakist eraldatakse puit virna kaupa ning rullteele monteeritud ülestõstjad tõstavad virna sobivale töökõrgusele. Sellest virnast lükkavad prusside ettetõukaja ja nelikanthöövli operaator sõrmjätkatud materjali või lamellid sisseveo rullteele, mis transpordib selle nelikant hõövliisse (tüüp Weinig Hydromat 23C). Liimpuidu tootmisel kantakse hõöveldamise ajal lamelli pealispinnale kõvendi ning liim. Hõöveldatud lamellid või sõrmjätkatud materjal väljub väljaveo rullteele. Sõrmjätkatud konstruksioonpuidu tootmisel tõstavad töötajad puidu rullteelt maha, komplekteerivad pakki ning katavad selle kilepakendisse. Liimpuidu tootmisel liiguvad lamellid rulltransportööridel kaugemale

pressi juurde, millelt töötajad tõstavad lamellid sinna sisse. Lamellid surutakse pressis tugevalt kokku, et saaks toimuda kivinemisprotsess, mis kestab olenevalt liimist, selle vahekorra ja toote omapärasest 1...3 tundi. Tehases on kasutusel horisontaalne ja vertikaalne talapress. Painutatud või erikujulise kujuga konstruktsioonide tootmiseks kasutatakse jõupõrandale monteeritavat pressi. Kui kivinemisprotsess pressis on läbi saanud, tõstetakse talatoorikud sellest välja ning ladustatakse. Seejärel teostatakse toorikute lõppdimensioneerimine paksus hõõvliga, mis võimaldab formaatida ka painutatud konstruktsioone. Lõpphõõveldatud toorikud ladustatakse ning transporditakse CNC -töötlemiskeskusesse, kus teostatakse talade otsamine ning vajalikud puurimis- ja freesimisoperatsioonid. Edasi teostatakse toodangu järeltöötlus. Selles faasis parendatakse pinnad vastava kvaliteedinõudeni, mis tähendab lõpphõõvelduse käigus esiletulnud puidurikete eemaldamist. Järgnevalt teostatakse olenevalt puitkonstruktsiooni kasutustingimustest lõppviimistlus. Enamlevinud viimistlusvahendina kasutatakse vee baasil läbipaistvat lakki, vähem toonitud viimistlusaineid. Kui konstruktsiooni on mõeldud kasutama niiskestes tingimustes, kantakse selle pinnad immutusvahendiga.

## 4. MATERJAL JA METOODIKA

### 4.1. Andmete kogumine ja salvestamine

Järkamisliini ajakasutuse analüüsi tarvis andmete saamiseks kasutati kronometreerimist, mille käigus registreeriti järkusliini operaatori kõik tegevused tööaja (vahetuse) jooksul.

Töö järkamisliinil toimub kolmes vahetuses. Öine vahetus algab kell 23.00, hommikune kell 06.00 ning õhtune kell 14.30. Öine vahetus kestab 7 tundi, teised vahetused 8 tundi. Järkamisliini töö algab pühapäeval öise vahetusega ning lõpeb reedel õhtuse vahetusega. Puhkepäevad on laupäev ja pühapäev, samuti riiklikud pühad. Ettevõttes töötab kolm järkamisliini operaatorit.

Andmed koguti järkusliini tööajal perioodil 11. november kuni 15. detsember 2015. a. Üldprintsipiina valiti vaatluspäevad juhuslikult, kuid tasakaalus mudeli saavutamise eesmärgil arvestati, et iga operaatori töö kohta oleks andmeid igas vahetuses kolmes kordsuses. Seega kavandati kronometreerida operaatori tööd 27 vaatlusvahetuses. Andmete kogumisel ilmnis, et viimane plaanitud vaatluspäev oli koristuspäev ning seetõttu andmeid selle päeva kohta ei kogutud. Probleem tekkis ühe vaatluspäeva andmete salvestusel. Kaduma läksid pooled sel päeval kogutud andmetest. Seega tuli kokku 26 vaatluspäeva, mis moodustavad andmestiku, milles on 3621 vaatlust.

Enne andmete kogumist vaadeldi operaatori tööprotsessi ja õpiti tundma operaatori töö erinevaid komponente. Andmete salvestamiseks kasutati sülearvutit. Eelneva kogemuse põhjal koostati edasise andmehõive kergendamiseks *MS Exceli* keskkonnas *Visual Basic* 'u (VBA) makro (Lisa 2). Esialgse plaani kohaselt eristati alljärgnevaid operaatori tegevusi:

1. Saematerjali paki kohaletoomine järkamisliinile tõstukiga.
2. Järkamisliini kohandamine saematerjali mõõduvahetuse puhul.
3. Saematerjali kvaliteedi hindamine (operaatori põhitöö).
4. Järkamisliini seadmetega seotud tõrgete eemaldamine.
5. Järkamisliinilt praagitud puidu korrastamine.
6. Puitlamellide koondamine vajaliku lisaruumi saamiseks.
7. Staablilippide koondamine.

8. Kokkuvõtte tegemine tööpäevast.
9. Muu tegevus.

Koostatud makro käivitamisel automaatselt salvestatakse tööoperatsiooni alguse kellaeg ja küsitakse selle tööoperatsiooni koodi ülalnimetatud loetelust. Lisaks koodile on võimalik salvestada ka täiendavaid selgitusi operaatori tegevuse kohta. Iga tööoperatsiooni kohta tekitatakse töölehele üks reakirje. Makro võimaldab salvestusi lõpetada, katkestada, taasalistada ja ka parandada. Iga vaatluspäeva andmed sisestati makrot kasutades *MS Excel*'i eraldi töölehele, töölehe nimeks anti vastav kuupäev. Andmete kogumisel nägi andmetabel välja nii nagu on esitatud tabelis 4.1.

**Tabel 4.1.** Väljavõte makro abil salvestatud *MS Exceli* andmetabelist

Aeg	kood	tegevus
14:34:47	5.11.2015	Salvestuse käivitus
14:35:23	3	Saematerjali kvaliteedi hindamine (operaatori põhitöö)
14:42:39	4	seisak sõrmjätukuliinil
14:43:26	3	Saematerjali kvaliteedi hindamine (operaatori põhitöö)
14:57:12	4	puut materjali laualt maas (liiga lühike saematerjal)
14:57:54	3	Saematerjali kvaliteedi hindamine (operaatori põhitöö)
15:00:01	4	segadus materjalilaua

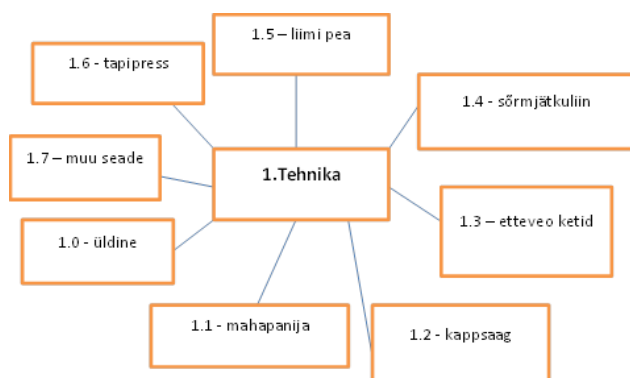
## 4.2. Salvestatud andmetabelite esmane töötlemine

Andmetabelite esmane töötlemine algas salvestatud andmete visuaalse kontrolliga. Vaadati üle parandused ning töö katkestused. Andmetabelite ülevaatamisel selgus, et esialgne operaatori tegevuste ühetasemeline klassifitseerimine üheksasse rühma ei ole sobiv, sest andmesalvestuse käigus oli tabelitesse lisatud tegevuste kohta hulgaliselt selgitusi, mis võimaldas operaatori tegevuste tunduvalt detailsemat analüüsi. Nende selgituste tõlgendamisega tekkis probleem, sest nad võisid kirjeldada vaid ühte operaatori tegevust. Seetõttu oli vajalik koostada kahetasemeline operaatori tegevuste klassifitseerimine. Kahetasemeline klassifitseerimine on jaotatud viieks rühmaks ning iga rühm omakorda detailsemaks alajaotuseks:

- tehnika;
- materjal;

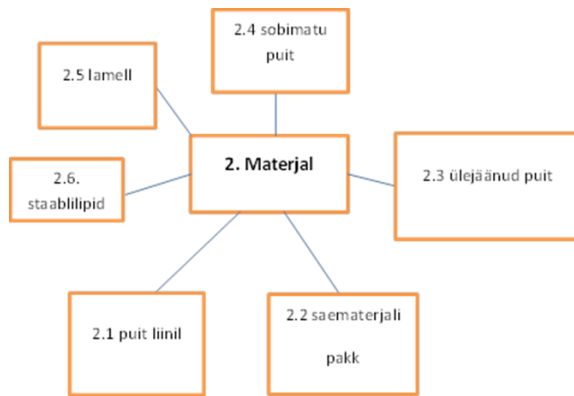
- operaator;
- olme;
- määramata.

Detailsema alajaotusega klassifitseeriti operaatori enamsageduslikud tegevused antud rühmas ning määrati nendele vastav kood. Järgnevatel joonistel 4.2.1, ..., 4.2.4 on antud kahetasemelised klassifitseerimised erinevates rühmades.



**Joonis 4.2.1.** Tehnilist tüüpi tõrgete alajaotus

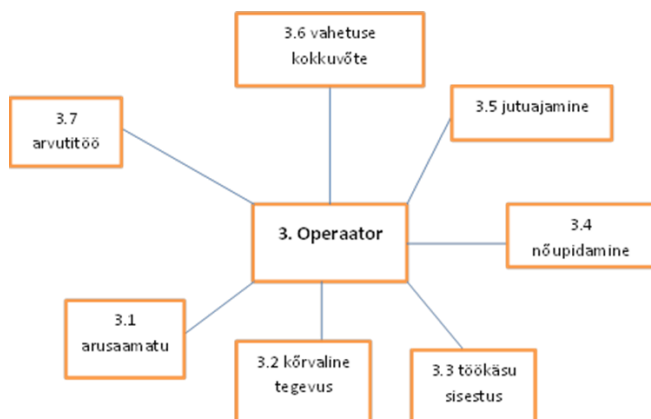
Tehnilist tüüpi tõrke jaotuse „üldine“ all mõistetakse sõrmjätkuliini käivitamist ja seiskamist, järkamisliini seadmete hooldust, järkamisliini üldist seadistamist ning ootamatut liini seisakut. Samuti võetakse arvesse tootmisprotsessi kontroll ning tõrgete eemaldamine „Mahapanija“ all mõistetakse ootamatut tõrget mahapanijal koos äralükkajaga, seadistamist, vajadusel selle täiustamist ning tõrke eemaldamist. „Kappsag“ all mõistetakse automaatse kappsae tõrget ja selle eemaldamist ning automaatse kappsae seadistamist. „Etteveo ketid“ tähendab etteveo kettide seadistamist. „Sõrmjätkuliin“ tähendab sõrmjätkuliini tõrget ning selle eemaldamist ja ootamatut seisakut sõrmjätkuliinil. „Liimi pea“ all mõistetakse liimi pealekande seadme tõrget ning selle eemaldamist ja selle seadme hooldust. „Tapipress“ on tapipingi seadme tõrge ja selle eemaldamine. „Muu seade“ all mõistetakse tapifreesi tõrget ja selle eemaldamist ning mõnda muud järkamisliini seadet.



**Joonis 4.2.2.** Saematerjalist põhjustatud tõrgete alajaotus

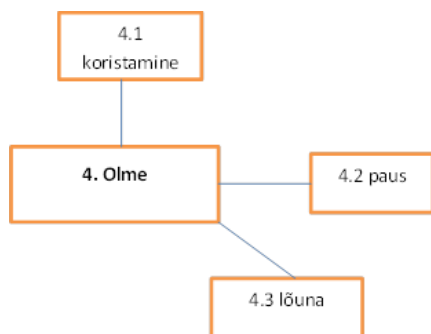
Saematerjalist tingitud seisaku võib põhjustada tööese järkamisliinil, kui tööese on kõver, kaardus või liialt lühike. Kõver või kaardus tööese võib takerduda sõrmjätkulini ning teiste tööesemete edasiliikumine on takistatud. Liialt lühike tööese võib kukkuda etteveokettidelt alla lipišahti. Saematerjali paki puhul transpordib operaator selle tõstukiga kuivatist või varjualuselt järkusliini ristkettidele. Pakk on seotud lindiga ning markeeritud. Selle ettevalmistamiseks katkestab operaator lindi ning eemaldab markeerimisetiketi. Järgnevalt transpordib operaator paki pakilammutajale. „Ülejäänud puit“ tähendab seda, et kui tootmisprotsessi ajal hakkab tunduma, et partii kogus hakkab täis saama, kontrollib operaator arvutist tööprotsessi. Vajadusel suunab vajaliku koguse saematerjali järkamisliinile, et partii kogus tuleks kokku. Seejärel eemaldab operaator partiist ülejäänud saematerjali pakki, seob selle vajadusel lindiga ning saadab ristkettidel tootmishoonest tagasi välja. Ristkettidelt viib ta järelejäänud saematerjali paki tõstukiga ladustamiskohta. Seejärel toob ta uue paki kohale ning valmistab ette. Siis seadistab automaatse kappsae, hindamise laua, liimi pealekandmise seadme ja mahapanija ning sisestab töökäsu arvutisse. Seejärel käivitab operaator kohandatud järkamisliini, suunab vajalikul hulgal saematerjali liini tööprotsessi kontrolliks ning vajadusel täiendab järkusliini seadistust. Kui seadistus vastab nõuetele, nullib ta lamellide pikkuslugeja, misjärel on võimalik alustada tootmisprotsessiga. Vajadusel küsib tootmisjuhilt selgitusi. „Sobimatu puidu“ all mõistetakse otsatud puiduriketega tööset, mis ei sobi edasiseks töötlemiseks. Tööesemed eemaldatakse sõrmjätkulini automaatselt selleks ettenähtud kohta. See puit virnastatakse ning saadetakse tootmishoonest välja. „Lamell“ tähendab seda, et kui laopind on lamellilaos vähenenud kriitilise piirini, tõstab operaator lindiga seotud lamelli paki teiste lamellide peale või rulltransportööri. Lamelli all mõistetakse ka nende markeerimist. Seisakuid põhjustab see, et liialt väikese laiusega lamelli puhul võib kukkuda lamelli virn

mahapanijal ümber. Probleemi lahendamiseks tuleb vrn korda seada. Võib juhtuda, et lamell tuleb hammastapp ühendusest lahti. Olukorra lahendamiseks tuleb probleemne lamelliosa viia tagasi hindamislauale, et see uuesti tootmisse suunata. Juhul, kui saematerjali pakk on staabeldatud, tuleb operaatoril lipikolult põrandale kukkunud staablilipid kokku korjata ning paigutada lipikärule.



**Joonis 4.2.3.** Operaatori tegevuste (väljaspool saematerjali visuaalset hindamist) alajaotus

„Arusaamatu“ all mõisetakse tegevust, mille puhul ei saadud selgust, kas operaatori tegevus on asjakohane või mitte. „Kõrvaline tegevus“ tähendab tootmisprotsessiga mitteseonduvat tegevust. „Töökäsu sisestus“ on töökäsu sisestamine arvutisse ning arvutiprogrammi seadistamine, kui operaator alustab uue tootmispartii täitmist. „Nõupidamine“ on konsultatsioon asjassepuutuvate kolleegidega. „Jutuaajamine“ tähendab asjasse mittepuutuvat nõupidamist. „Vahetuse kokkuvõte“ on vahetuse lõpus töö tulemuste kokkuvõtmine ning kirjapanek. „Arvutitöö“ vajalik töö arvutiprogrammiga.



**Joonis 4.2.4.** Olmest tingitud ajakulu ajajaotus

„Koristamine“ puhul koristab operaator vajalikud tootmispinnad saepurust, puhastab automaatse kappsae ja etteveo ketid – vaatab üldiselt kogu järkamisliini üle. Operaator teeb seda harilikult oma vahetuse lõpul, et järgmise vahetuse operaator saaks tööjärje üle võtta.

„Paus“ on puhkeaeg pikkusega kümme minutit. Vahetuse jooksul on kokku kaks pausi. „Lõuna“ on puhkeaeg pikkusega pool tundi. See aeg on ettenähtud einestamiseks.

Operaatori tegevuste andmetabeli järelanalüüsi käigus lisati *Exceli* tabelisse iga põhitööst (saematerjali visuaalne hindamine) erineva tegevuse kohta sobiv alajaotuse kood. Väikesele osale tegevustest (enamasti väga lühiajalised) jäi paraku sobiv kood määramata.

Igale tegevusele arvutati selle kestus lahutades järgneva tegevuse algusajast antud tegevuse algusaja. Operaatori tegevuse kestuse ühikuks võeti sekund. *MS Exceli* keskkonnas oli aja formaat „h:mm:ss AM/PM“. Probleem tekkis aja arvutamisega öiste vahetuste puhul, sest nendel juhtudel toimub üleminek järgmisele päevale. Probleem sai lahendatud mehaaniliselt.

*Exceli* andmetabeli tulpa „Abi“ lisati neile tegevustele, mida oleks võinud teha paralleelselt operaatori tööga, lisati märgi „A“. Paranduste sisestamise käigus *Exceli* andmetabelisse oli risk vigade tekkeks. Seetõttu pärast parandusi arvutati veelkord tegevuste toimumisajad, et neid võrrelda kontrolliks esialgsete arvudega. Kõik vahetuste *Exceli* andmetabelid salvestati edasiseks töötlemiseks csv-vormingusse. Koostati vahetuste üldandmete tööleht „VahetusedAK“, kuhu salvestati iga kronometreeritud vahetuse toimumise kuupäev, vahetuse tüüp (öine, hommikune, õhtune) ja operaatori nimi

### 4.3. Statistiline andmeanalüüs

Järkamisliini operaatori tööaja statistiline analüüs tegemiseks kasutati statistikatarkvara R (R core team, 2017). Andmetöötluste R skript on esitatud lisas 3.

Statistilise andmetöötluste käigus vaadeldi eraldi operaatori „kasulikku tööaega“, mis kulus operaatori põhitööks (saematerjali visuaalseks hindamiseks) ja operaatori tööaega, mis kulus mitut liiki seisakuteks ja abitegevusteks. Peamiste mõjufaktoritena uuriti vahetuse tüübi ja erineva operaatori mõju operaatori tööajale. Uuritava tunnuseks vaadeldi operaatori pidevat „kasulikku tööaega“ (saematerjali visuaalset hindamist) ühe seisaku lõpust järgmise seisaku alguseni. Tavapäraselt kasutatakse diskreetsete faktorite (vahetuse tüüp, operaator) mõju hindamiseks dispersioonanalüüsi, mis eeldab funktsioontunnuse normaaljaotust faktorite kõigil tasemetel. Kuna operaatori tööaja jaotus erines oluliselt



normaaljaotusest, prooviti tööaja asemel analüüsida selle logaritmi, mille jaotus on normaaljaotuse lähedane. Dispersioonanalüüsi tegemiseks R keskkonnas kasutati üldist lineaarmetodite funktsiooni *lm*.

Alternatiivse lähenemisena kasutati tavapärase normaaljaotust eeldava dispersioonanalüüsi asemel mitteparameetrilist (jaotusvaba) dispersioonanalüüsi Kruskal-Wallise astaktesti (Parring jt 1997), mis tugineb tööaegade järjestuse juhuslikkuse testimisele faktori erinevate tasemete järgi. Kruskal-Wallise testi tegemiseks kasutati R keskkonnas funktsiooni *kruskal*.

Samuti pakkus huvi tööaja jaotuse üldistamine matemaatiliseks mudeliks. Operaatori tööaja jaotuse modelleerimiseks kasutati Weibulli jaotust ja eksponentjaotust.

Weibulli jaotuse tihedusfunktsioon avaldub kujul :

$$f(x) = a \cdot b^{-a} \cdot x^{a-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{x^a}{b}\right)\right),$$

kus  $a$  on kujuparameeter

$b$  on mastaabiparameeter (Kiviste, 2007)

Statistikatarkvara R keskkonnas kasutati Weibulli jaotuse parameetrite  $a$  ja  $b$  hindamiseks funktsiooni *fitdistr* paketist MASS. Eksponentjaotus on Weibulli jaotuse erijuhtum, kui kujuparameeter on 1. Eksponentjaotuse tihedusfunktsioon avaldub kujul :

$$f(x) = c \cdot \exp(-c \cdot x)$$

Statistikatarkvara R keskkonnas kasutati eksponentjaotuse parameetri  $c$  hindamiseks funktsiooni *fitdistr* paketist MASS. Eksponent jaotus on Weibulli jaotusest lihtsam, kuid samas ei pruugi eksponent jaotust andmetega nii hästi lähendada kui Weibulli jaotust. Erinevate mudelite võrdlemiseks samal andmestikul on soovitatav kasutada Akaike informatsiooni kriteeriumit AIC, mille arvutamiseks R keskkonnas kasutati funktsiooni *AIC* (Crawley, 2007: 353). Mida väiksem on informatsiooni kriteeriumi AIC väärtus, seda parem on kooskõla mudeli ja andmete vahel.

Seisakute aega analüüsiti erinevate seisakupõhjuste järgi. Seisakute aja visuaalseks iseloomustamiseks seisakupõhjuste lõikes kasutati tulpdiagramme, histogramme ja

karpdiagramme. Seisakuaja visuaalseks esitamiseks kasutati R keskkonnas funktsioone *barplot*, *hist* ja *boxplot*.

## 5. TULEMUSED JA ARUTELU

### 5.1 Aeg operaatori põhitööks

Operaatori põhitöö all mõistetakse tema tegevust, mida ta kasutab saematerjali visuaalseks hindamiseks. Hindamise käigus märgib operaator puidurikete asukohad saematerjali laual spetsiaalse kriidiga ning saadab laua töötlemisse.

Andmeid õnnestus koguda kokku 26 vaatluspäeval, mille jaotus on esitatud tabelis 5.1.1.

**Tabel 5.1.1.** Järkamisliini operaatorite vahetuste jaotus

Operaator	Hommikune	Õhtune	Öine
operaator1	4	2	3
operaator2	2	3	3
operaator3	3	3	3

Tabelist 5.1.1. selgub, et andmestik on suhteliselt tasakaalus, st vahetused on jaotunud operaatorite vahel enam-vähem võrdselt.

Kogu mõõtmisaeg on 710182 sek  $\approx$  197 tundi, mis jaguneb vahetuste vahel alljärgnevalt: hommikune - 69, õhtune - 66 ja öine - 62 tundi. Mõõtmisaeg jaguneb operaatorite vahel alljärgnevalt: 71, 62 ja 64 tundi.

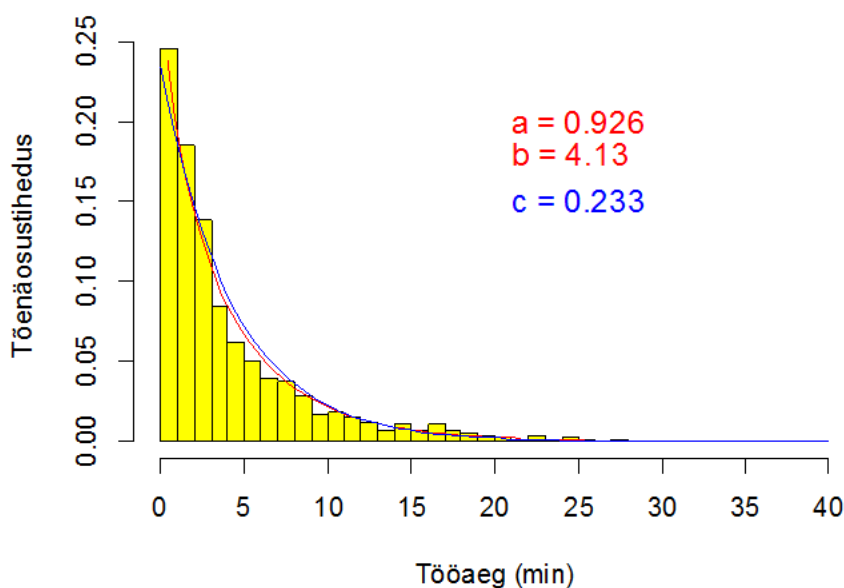
Operaatori põhitööaeg on 319197 sek  $\approx$  89 tundi. See jaguneb alljärgnevalt: hommikune - 32, õhtune - 30 ning öine 27 tundi. Põhitööaeg jaguneb operaatorite vahel alljärgnevalt: 35, 26 ning 28 tundi.

Põhitööaja kirjade arv on 1241. Keskmine pidev põhitööaeg on  $\frac{319197 \text{ sek}}{1241} = 257 \text{ sek} = 4,28 \text{ min}$ . Operaatori põhitööaja (saematerjali visuaalseks hindamine) osatähtsus kogu tööajast on  $\frac{319197}{710182} \approx 45\%$ .

Esmapilgul tundub, et operaatori tööajast kulub põhitööks (saematerjali visuaalseks hindamiseks) üllatavalt väike osa (alla poole). Samas tootmise järgmise sõlme (hööveldamine) läbilaskevõime on piiratud ja tegelikult puudub otsene vajadus suurendada

lammelite ja sõrmjätkatud materjali laovarude. Lao pind on piiratud ja sobiva lammellipartii otsimine täislaost on töömahukas. Seejuures on oluline, et operaator ei teeks saematerjali visuaalse hindamisel järeleandmisi töö kvaliteedile, sest järgnevatel etappide on lamellimaterjali riketest tingitud toodanguvigade kõrvaldamine hoopis kulukam, kui seda teha järkamisliinil.

Operaatori pidevat (seisakuteta) põhitööaega (saematerjali visuaalset hindamist) iseloomustab jaotushistogramm joonisel 5.1.1. Histogramm on esitatud ajasammuga üks minut. Jooniselt võime veenduda, et kõige sagedamini jääb pidev põhitööaeg ühe minuti piiresse. Kui tööaja aritmeetiline keskmine oli 4,28 minutit, siis mediaankeskmine oli vaid 2,43 minutit, mis on põhjustatud jaotuse tugevast asümmeetrilisusest. Kõige kauem kestis pidev saematerjali visuaalne hindamine peaaegu 40 minutit.

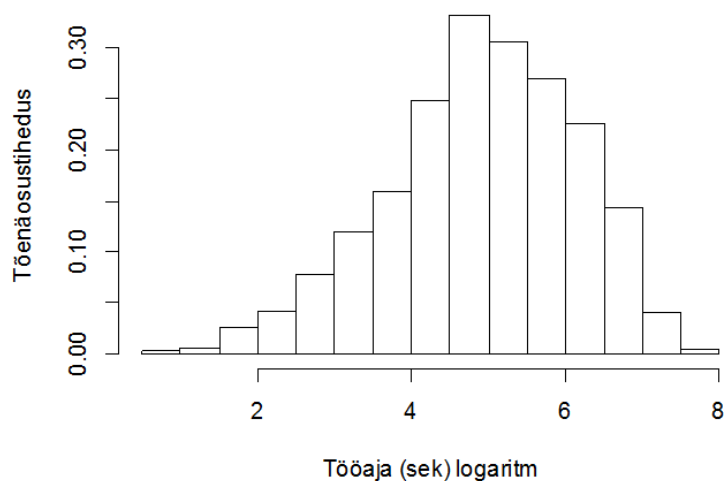


**Joonis. 5.1.1.** Pideva tööaja kestvuse jagunemise histogramm. Punasega on Weibulli jaotuse ja sinisega eksponentjaotuse parameetrite hinnangud ja tihedusfunktsiooni graafik.

Joonisel 5.1.1 on punase kõveraga lisatud Weibulli jaotuse ja sinise kõveraga eksponentfunktsiooni tihedusfunktsiooni lähendid. Arvud  $a$  ja  $b$  on Weibulli kuju- ja mastaabiparameetri hinnangud ning arv  $c$  on eksponentfunktsiooni parameetri  $c$  hinnang.

Akaike informatsioonikriteeriumi AIC väärtusteks pideva tööaja lähendamisel Weibulli ja eksponentjaotuse mudelitega saadi vastavalt 6085 ning 6096. Sellest järeldub, et Weibulli funktsioon sobitub mõõtmisandmetega paremini kui eksponentfunktsioon. Siiski, vaadates histogrammi jooniselt 5.1.1, on erinevus nende lähendfunktsioonide vahel väike, mistõttu mudeli lihtsust silmas pidades võiks eelistada eksponentjaotuse mudelit.

Joonisel 5.1.2 on esitatud pideva tööaja logaritmi jaotushistogramm. Jaotushistogrammi kuju on lähedane normaaljaotusele, kuid teatava vasakpoolse asümmeetria olemasolu ei kinnita dispersioonanalüüsi normaaljaotuse eelduse täitmist. Seetõttu osutus vajalikuks kasutada diskreetse faktorite (vahetuse tüübi ja operaatori) mõju olulisuse tõestamiseks Kruskal-Wallise testi.



**Joonis 5.1.2.** Pideva tööaja (sekundites) logaritmi jaotushistogramm

Kruskal-Wallise testi tulemustest selgus, et operaatori pidev põhitööaeg sõltus nii vahetuse tüübist (testi olulisustõenäosus 0,015) kui ka operaatorist (testi olulisustõenäosus 0,00012). Enam-vähem samasugused tulemused saadi operaatori pideva tööaja logaritmi kahefaktorilise dispersioonanalüüsi käigus, mille tulemused on esitatud tabelis 5.1.2.

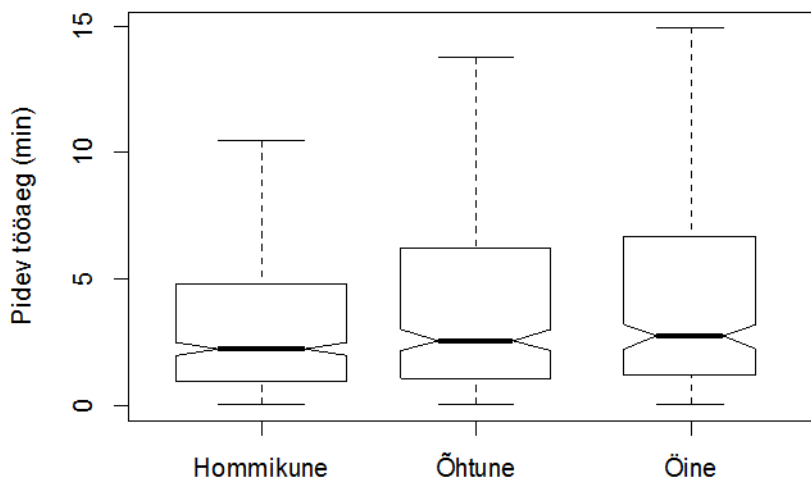
**Tabel 5.1.2.** Operaatori pideva põhitööaja (sek) logaritmi dispersioonanalüüsi tulemused. Faktorid on vahetuse tüüp (FVahetus) ja operaator (FOperaator). Df on vabadusastmete arv, Sum Sq on hälvete ruutude summa, Mean Sq on hälvete keskruut, F-value on F-statistiku väärtus, Pr(>F) on faktori olulisustõenäosus.

Response: log(sek)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
FVahetus	2	11.52	5.7596	3.8941	0.02061	*
FOperaator	2	38.92	19.4607	13.1574	2.218e-06	***
FVahetus:FOperaator	4	6.64	1.6600	1.1223	0.34435	
Residuals	1232	1822.21	1.4791			

Tabelist 5.1.2 selgub, et operaatori pideva põhitööaja logaritm sõltub nii vahetuse tüübist kui ka (veelgi enam) operaatorist. Vahetuse tüübi ja operaatori koosmõju ei olnud statistiliselt oluline (olulisustõenäosus 0.34).

Faktorite tasemete mõju on näha joonistel 5.1.3 ja 5.1.4. Karpdiagrammi keskmine jäme joon vastab operaatori pideva põhitööaja mediaanile (minutites), sälgud selle joone ümber – mediaani 95% usalduspiiridele. Karpide ülemised ja alumised servad vastavad operaatori pideva põhitööaja alumisele ja ülemisele kvartiilile. Karpdiagrammi „vuntsid“ näitavad aja äärmuslikke väärtusi vastavas valimis.



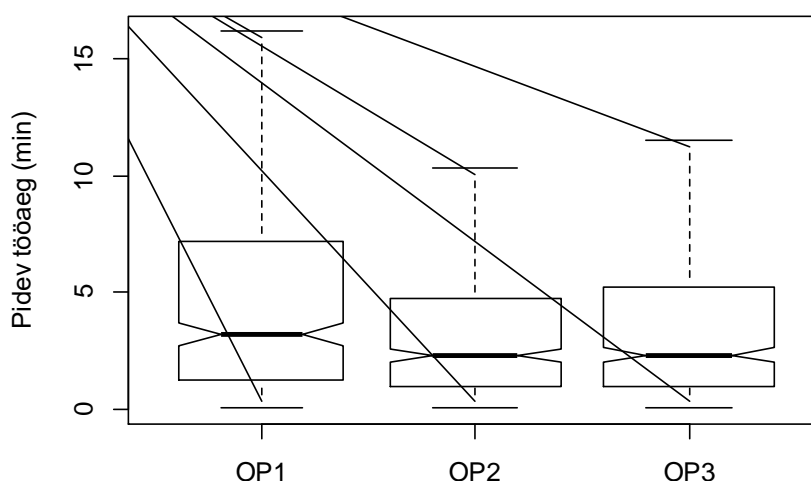
**Joonis 5.1.3.** Pideva põhitööaja karpdiagramm vahetuse tüüpide kaupa.

Aritmeetiline keskmine pidev põhitööaeg hommikuses vahetuses on 3,67 min, õhtuses vahetuses 4,48 min ning öises vahetuses 5,06 min. Mediaan pidev põhitööaeg on

hommikuses vahetuses 2,23 min, õhtuses vahetuses 2,59 min ning öises vahetuses 2,73 min.

Joonise 5.1.3 ja arvutatud statistikute andmeil võib järeldada, et hommikuses vahetuses on operaatorite pidev põhitööaeg mõnevõrra lühem kui õhtuses ja öises vahetuses. Võimalik, et selle põhjuseks on operaatorite värskus ja suurem tähelepanelikkus ning sellest tingituna parem valmidus standardset puitmaterjali visuaalse hindamist katkestama, et kõrvaldada ilmnenud probleeme.

Operaatori pideva põhitööaja võrdluses operaatorite kaupa eristub teistest operaator OP1, kelle pidev põhitöö aeg on mõnevõrra suurem kui teistel operaatoritel.



**Joonis 5.1.4.** Pideva põhitööaja karpdiagramm kolme erineva operaatori kaupa.

Aritmeetiline keskmine pidev põhitööaeg on operaatoril OP1 5,31 min, operaatoril OP2 3,67 min ning operaatoril OP3 3,96 min. Mediaan pidev põhitööaeg on operaatoril OP1 3,21 min, operaatoril OP2 2,28 min ning operaatoril OP3 2,32 min. Operaatori pidev põhitööaeg on heas sõltuvuses operaatori põhitööaja osatähtsusest, mis võib-olla veelgi sisukamalt iseloomustab operaatori „tootvat tegevust“. Pideva tööaja osatähtsus oli operaatoril OP1 0.49, operaatoril OP2 0.42 ja operaatoril 0.43. Siit võiks järeldada, et operaatori OP1 töö on tulemuslikum kui teistel, kuid see järeldus võib olla ekslik, sest

käesolevas uurimuses ei ole teada mõõdetud operaatorite töö kvaliteeti. Mitteametlikel andmeil olevat olnud operaator OP1 töö tulemustega probleeme.

## 5.2. Seisakutele kulunud aeg

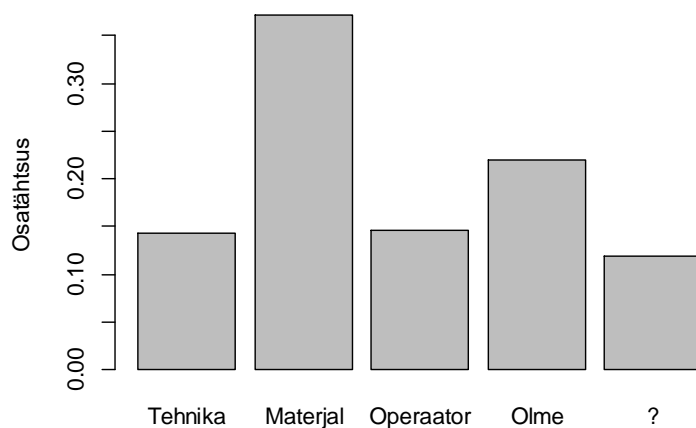
Seisakute aja all mõistetakse antud uurimuses aega, mida operaator ei kasuta oma põhitööks. Seisakutele kuluv aeg on  $\frac{390985 \text{ sek}}{60} \approx 6516 \text{ min} \approx 109 \text{ tundi}$ . Seisakud saab põhjuste järgi üldiselt rühmitada alljärgnevalt: tehnika, materjal, operaator, olme ning määramata põhjus. Tabelis 5.2.1. on antud statistilised karakteristikud käsitletud seisaku tüüpide kohta.

**Tabel 5.2.1.** Seisakut iseloomustavad arvkarakteristikud seisakutüüpide kaupa

Seisaku tüüp	Juhtumite arv	Kestvus (min)	Aritmeetiline keskmine kestvus (min)	Aja osatähtsus
tehnika	547	932	1,70	0,143
materjal	804	2419	3,01	0,371
operaator	420	954	2,27	0,146
olme	95	1432	15,07	0,220
määramata	463	779	1,68	0,120
kokku	2329	6516		1

Ülevaade seisakute osatähtsustest tüüpide järgi on esitatud joonisel 5.2.1. Tabeli 5.2.1 ja joonise 5.2.1 info põhjal võib järeldada, et enim seisakuaja kulub puitmaterjaliga seotud probleemide lahendamisele (37%) ja arvestatav osa seisakutest kulub olmepausidele (22%). Ootuspäraselt kulub osa aega seadmete tehniliste probleemidega tegelemiseks (14%) ning operaatori spetsiifiliseks tööks (15%). Osa seisakuaja (enamasti lühikesed seisakud) puhul (12%) jäi kronometreerimise märkmetest selgusetuks, millisesse kategooriasse seisak liigitada.





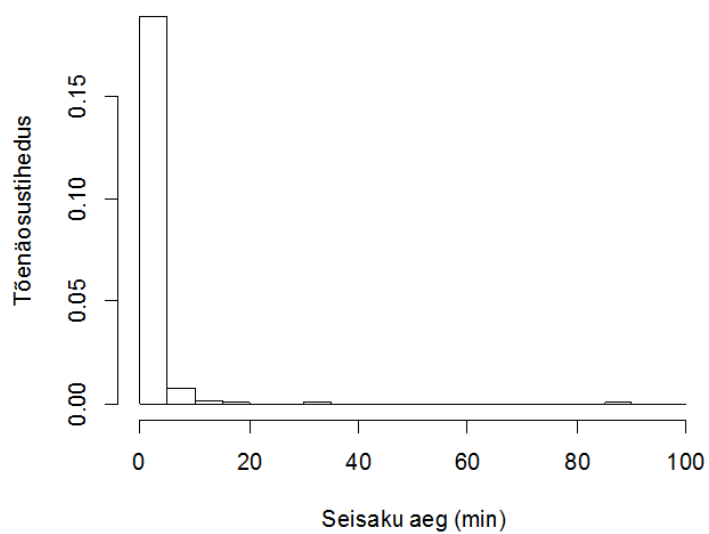
**Joonis 5.2.1.** Seisakutele kulunud aja jaotus seisakutüüpide järgi.

### 5.2.1. Tehnilistest probleemidest põhjustatud seisakud

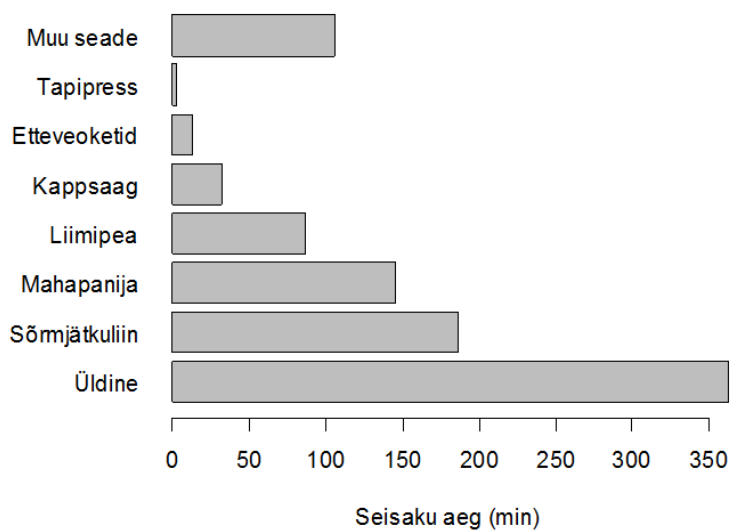
Uurime lähemalt tehnilist tüüpi seisakuid. Tehnilist tüüpi seisakute kogukestvus on  $\frac{55920 \text{ sek}}{60} \approx 932 \text{ min} \approx 16 \text{ h}$ . Tehnilist tüüpi seisakute põhjuste statistilised andmed on esitatud tabelis 5.2.1.1. ning joonistel 5.2.1.1...5.2.1.3.

**Tabel 5.2.1.1.** Statistilised andmed tehnilist tüüpi seisakute kohta

Põhjus	Kogu seisakute aeg (min)	Sagedused	Aritm. keskm. seisakuaeg (min)	Mediaan seisakuaeg (min)
üldine	363	225	1,62	0,77
mahapanija	145	60	2,41	1,92
kappsaag	31	29	1,08	0,75
etteveo ketid	12	13	0,97	0,63
sõrmjätkuliin	185	156	1,19	0,42
liimi pea	86	47	1,84	0,80
tapiress	2	3	0,79	0,80
muu seade	105	14	7,52	1,06
kokku	932	547		



**Joonis 5.2.1.1.** Tehnikast tingitud seisakuaja jaotushistogramm



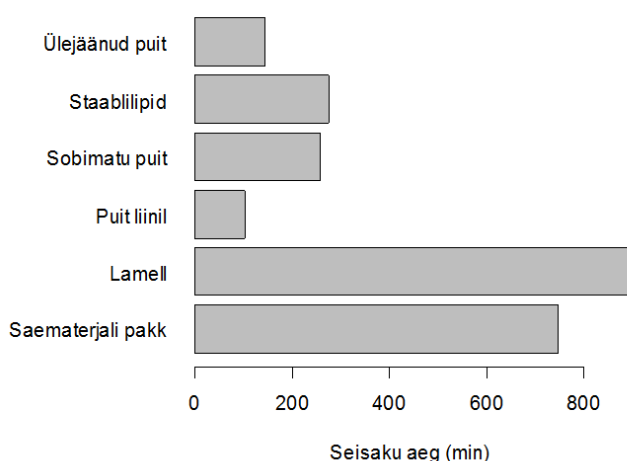
**Joonis. 5.2.1.2.** Tehnilist tüüpi seisakute koguaja jaotus põhjuste järgi



Jooniselt 5.2.1.2. on näha, et teistest sagedamini on tehnilised seisakud põhjustatud alajaotisest „üldine“ ning „sõrmjätkuliin“. Alajaotis „üldine“ esineb kõige sagedamini sellepärast, et selle puhul arvestatakse kõige rohkem operaatori tegevusi järkamisliini töö edenemiseks.

## 5.2.2 Materjal

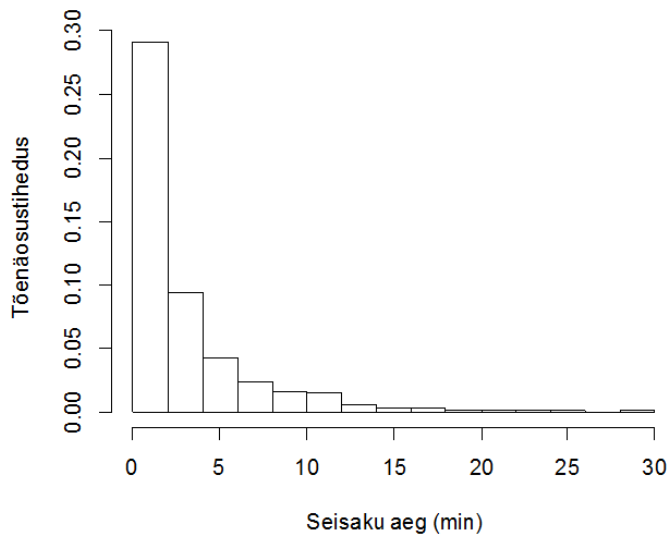
Uurime lähemalt materjalist põhjustatud seisakuid. Materjali tüüpi seisakute kogukestvus on  $\frac{145175 \text{ sek}}{60} \approx 2419 \text{ min} \approx 40 \text{ h}$ . See on suurima koguaajaga seisaku tüüp. Statistilised andmed materjalist põhjustatud seisakute kohta on esitatud tabelis 5.2.2.1. ning joonistel 5.2.2.1...5.2.2.3.



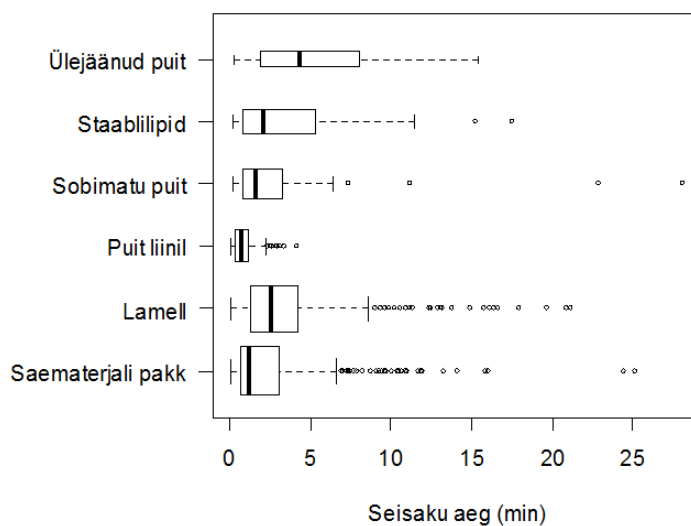
**Joonis 5.2.2.1.** Materjali tüüpi seisakute koguaaja jaotus põhjuste järgi

**Tabel 5.2.2.1.** Materjali tüüpi seisakute statistilised andmed

Põhjus	Koguaeg (min)	Sagedused	Osatähtsus	Aritm. keskm. seisakuaeg (min)	Mediaan seisakuaeg (min)
puut liinil	103	112	0,043	0,92	0,66
saematerjali pakk	749	264	0,310	2,84	1,25
ülejäanud puit	144	27	0,059	5,32	4,30
sobimatu puit	257	92	0,106	2,79	1,55
lamell	893	236	0,369	3,79	2,49
staablilipid	274	73	0,113	3,76	2,12
kokku	2420	804	1		



**Joonis 5.2.2.2.** Materjali tüüpi seisaku kestvuse jaotushistogramm



**Joonis 5.2.2.3.** Materjalist tingitud seisakuaja karpdiagramm seisaku põhjuste järgi (erindid pole eraldatud)

Ka materjalist tingitud seisakute jaotus on ebasümmeetriline, kuid võrreldes tehnilistest probleemidest tingitud seisakutega, on materjaliga seotud seisakud keskmiselt pikemad, kusjuures erandlikult pikki seisakuid on vähem.

Materjalist tingitud seisakuid esineb tehnilistest probleemidest tingitud seisakutega võrreldes mõnevõrra rohkem. Materjali tüüpi seisakute koguaeg on samuti suurem (ligikaudu poolteist korda). Jooniselt 5.2.2.1. selgub, et kõige rohkem esineb seisakuid lamelliga ning saematerjali pakiga. Lamelli puhul on mõistetav piiratud lamellide ristlao maht, mistõttu on tarvis neid üsna sagedasti tõsta. See on üsna ajamahukas töö. Samuti tuleb arvestada lamellide markeerimist, mis on oluline tootmisprotsessi jälgimisel. Saematerjali pakke mahub ristkettidele üsna vähe (maks 3, kui arvestada juurde pakk pakilammutuses) ning seetõttu on tarvis saematerjali juurde tuua sellevõrra sagedamini. Lisaks tuleb arvestada juurde tööaeg saematerjali paki ettevalmistamiseks.

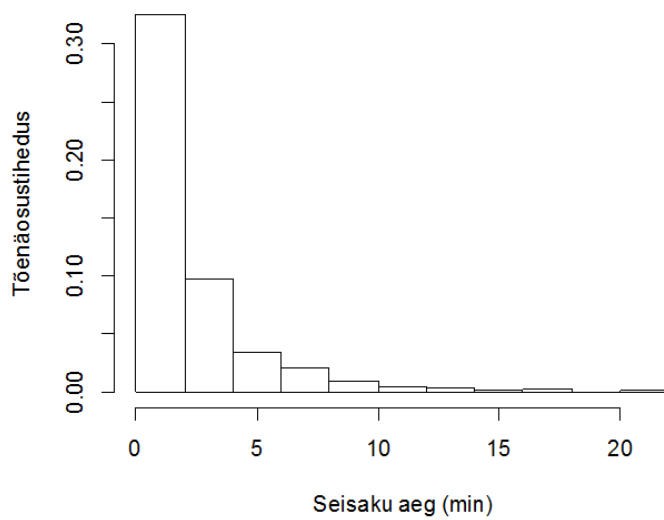
Joonis 5.2.2.2. histogrammilt selgub, et kõige enam esineb materjali tüüpi seisakuid, mille kestvus on kuni kaks minutit. Materjalist tingitud seisaku kõrvaldamine pole võrreldes tehnilise seisakuga nii aeganõudev, sest probleem on vähem komplitseeritud ning selle võrra on võimalik materjali tüüpi tõrge kiiremini eemaldada.

### 5.2.3. Operaator

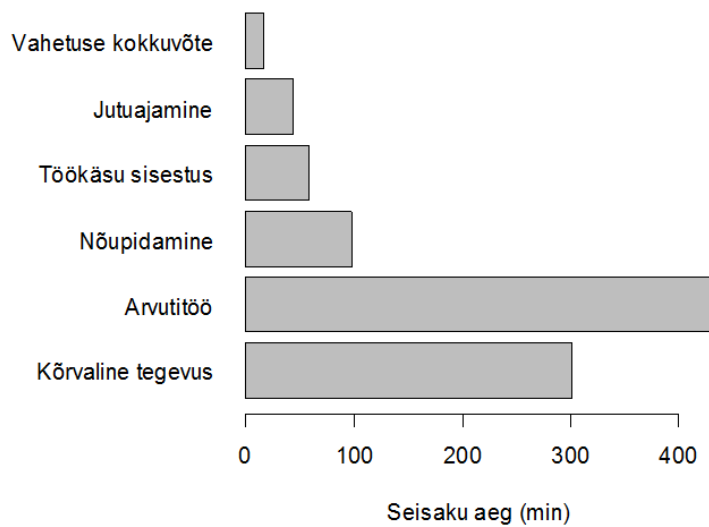
Võtame vaatluse alla operaatori tegevused. Operaatori tüüpi seisakute kogukestvus on  $\frac{57238 \text{ sek}}{60} \approx 954 \text{ min} \approx 16 \text{ h}$ . Tabelis 5.2.3.1. ja joonistel 5.2.3.1...5.2.3.3. on toodud operaatori tüüpi seisakute statistiline iseloomustus.

**Tabel 5.2.3.1.** Operaatori tüüpi seisakute statistilised andmed

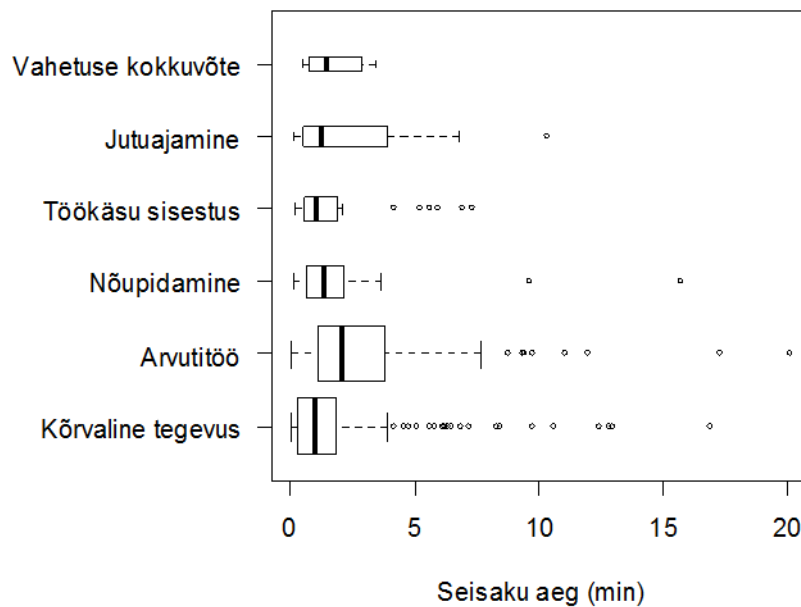
Põhjus	Sagedused	Kestvus (min)	Osatähtsus	Aritmeetiline keskmine seisakuaeg (min)	Mediaan keskmine seisakuaeg (min)
kõrvaline tegevus	161	301,85	0,316	1,88	0,93
arvutitöö	147	435,02	0,456	2,96	2,08
nõupidamine	53	98,45	0,103	1,86	1,37
töökäsu sisestus	31	58,23	0,061	1,88	1
jutuajamine	18	43,52	0,046	2,42	1,21
vahetuse kokkuvõte	10	16,90	0,018	1,69	1,43
kokku	420	954	1		



**Joonis 5.2.3.1.** Operaatorist tingitud seisakuaja jaotushistogramm



**Joonis 5.2.3.2.** Operaatorist tingitud seisakute koguaeg tegevuste järgi



**Joonis 5.2.3.3.** Operaatorist tingitud seisakuaja karpdiagramm põhjuste järgi

Joonis 5.2.3.1. jaotushistogrammi põhjal võib väita, et oluliselt enam esineb seisakuid, mille kestvus on kuni kaks minutit. Joonis 5.2.3.2. näitab, et kõige enam kulub aega arvutitööks ja kõrvalisteks tegevusteks ning oluliselt vähem muudeks toiminguteks.

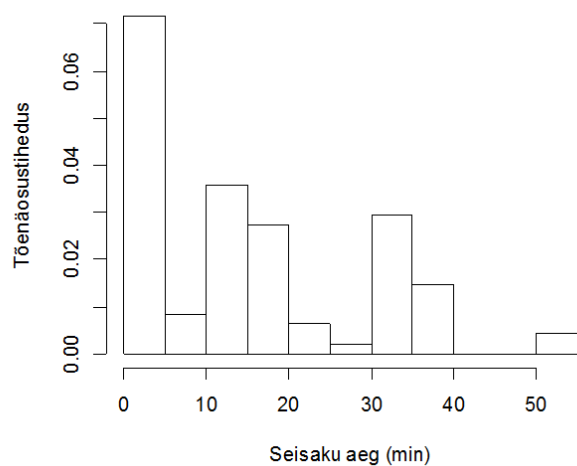
## 5.2.4. Olme

Olme seotud tegevustest põhjustatud seisakute kogukestvus on  $\frac{85892 \text{ sek}}{60} \approx 1432 \text{ min} \approx 24 \text{ h}$ . Statistiline ülevaade operaatori olmelistele tegevustele kulunud ajast on esitatud tabelis 5.2.4.1 ja joonistel 5.2.4.1...5.2.4.3.

**Tabel 5.2.4.1.** Olme seotud tegevustest põhjustatud seisakute karakteristikud

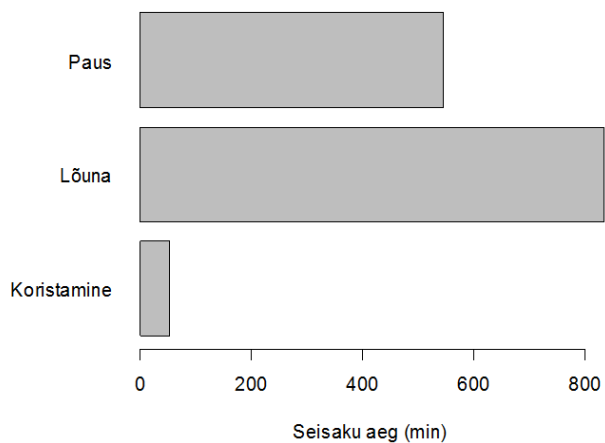
Põhjus	Sagedus	Koguaeg (min)	Osatähtsus	Aritmeetiline keskmine kestvus (min)	Mediaan keskmine kestvus (min)
koristamine	31	52	0,036	1,68	1,38
paus	39	545	0,381	14	13,87
lõuna	25	834	0,583	33,60	33,60
kokku	95	1432	1		



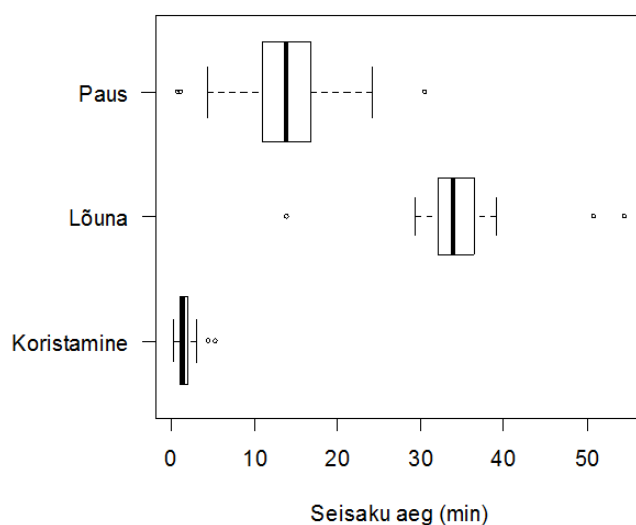


**Joonis 5.2.4.1.** Olmega seotud tegevustest põhjustatud seisakuaja jaotushistogramm

Jaotuse trimodaalsus (kolm maksimumi) on tingitud kolme erineva keskmise jaotuse kokkuühendamisest. Seega on mõistlik arvestada olmest tingitud põhjusi iseseisvate faktoritena.



**Joonis 5.2.4.2.** Olmega seotud tegevustest põhjustatud seisakute koguaja jaotus põhjuste järgi

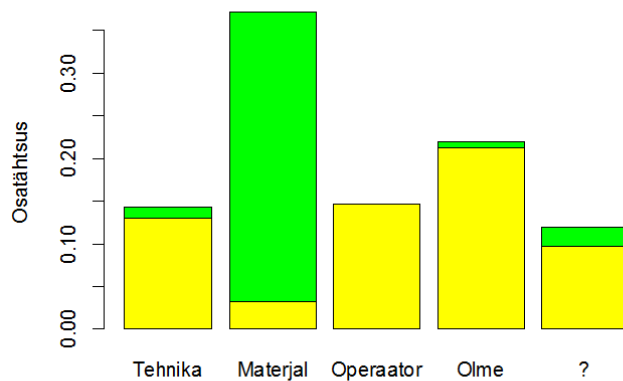


**Joonis 5.2.4.3.** Olmega seotud tegevustest põhjustatud seisakuaja karpdiagramm

Olmega seotud tegevustest põhjustatud seisakuaja jaotus on täiesti erinev eelnevalt käsitletud põhjuste (tehnika, materjal, operaator) jaotusest. Joonisel 5.2.4.1 esitatud histogrammil eristuvad selgelt kolm moodi (kolm maksimumi), mis on tekkinud kolme erineva tsentriga jaotuse kokkuühendamisest. See selgub jooniselt 5.2.4.3, kus on esitatud erinevatele olmetegevustele kulunud aja karpdiagrammid. Jooniselt on näha, et nii lõunale, pausidele kui ka koristamisele kulunud aeg on kõigil juhtudel sümmeetrilise jaotusega, kuid erineva keskmisega. Nii see peabki olema, sest lõunaks on ette nähtud pool tundi, pausideks kümme minutit ja koristamine võtab aega mõne minuti. Seega on mõistlik arvestada olmest tingitud põhjusi iseseisvate faktoritena.

### 5.3. Abioperaatori osatähtsus

Exceli tabeli esmatöötluse käigus hinnati iga operaatori tegevuse jaoks, et kas seda tegevust oleks saanud ära teha abioperaator nii, et nõ põhioperaator saaks jätkata oma põhitööga liinil. Tulemused on esitatud jooniselt 5.3.1. ning tabelis 5.3.1.



**Joonis 5.3.1.** Seisakuaja jaotus seisaku tüübi ja abioperaatori tunnuse järgi.

Roheline värvus joonise 5.3.1. tulpades tähistab hinnangulist abioperaatori töölerakendamisel kokkuhoitavat aega.

**Tabel 5.3.1.** Abioperaatori osatähtsus erinevatel seisakutüüpidel

Seisaku tüüp	Abioperaatori osatähtsus
tehnika	0,0143
materjal	0,3394
operaator	0,0006
olme	0,0077
määramata	0,0231
kokku	0,3851

Jooniselt 5.3.1 ja tabelist 5.3.1 selgub, et abioperaator võib vähendada seisakutele kuluvat aega hinnanguliselt kuni 38%. Kõige rohkem oleks abioperaatorist kasu materjali tüüpi seisakute lahendamisel.

Abioperaatori töölerakendamine muudaks nõ põhioperaatori töö oluliselt lihtsamaks selle poolest, et koos tegutsedes oleks võimalik materjalist tingitud seisakud ja tõrked oluliselt kiiremini lahendada, lisaks tuleks ajaline võit mitmete teiste lihtsamate tööde teostamisest. Tulemus on see, et põhioperaator saab enam pühendada oma põhitööle.

Tehnikast põhjustatud seisakute lahendamisel on eelduseks tehnoloogilise liini töö tundmine. Seega oleks abioperaatorist kasu siis, kui ta omaks vastavaid teadmisi järkamisliini töö kohta.

## Kokkuvõte

Operaatori töö järkamisliinil on vaheldusrikas, sest andmeanalüüsi tulemusel selgus, et keskmiselt iga mõne minuti pärast tuleb tal lahkuda saematerjali visuaalse hindamise töökohast, et teostada mõni abioperatsioon või tagada järkamisliini töö kestvus. Tuli välja, et kogu operaatori tööajast moodustab põhitöö ligikaudu 45 %.

Olulisemaks seisakutüübiks on materjalist tingitud seisak ( $\approx 37\%$  seisakute ajast). Selle seisakutüübi puhul on abioperaatori töösserakendamise puhul kasu kõige suurem (ligikaudu 34 %). Sel juhul saaks abioperaator tegutseda nii, et ei katkeks saematerjali visuaalne hindamine. Abioperaatori mõju oleks tootmistegevusele edenemisele kõige suurem öises vahetuses.

Tootmisprotsessi normaalne toimimine on tööstusettevõttes tagatud siis, kui selle kõik osad töötavad tervikuna ühtemoodi. Pole kasu sellest, kui üks osa tarneahelast töötab teiste lülidega võrreldes märkimisväärselt efektiivsemalt või vastupidi, selle jõudlus jääb oluliselt teistele alla. Ideaaljuhtumil on nii, et iga järgmise tehnoloogilise sõlme läbilaskevõime on suurem eelmisest. Kui vaadata tootmisprotsessi üldisemalt Peetri Puit OÜ-s, tekitab juba hetkevõimekusega töötav järkamisliin tihti liigse puhvervaru tõttu probleeme. Abioperaatori rakendamisel kasvav tootlikkus suurendaks puhvervaru mahtu veelgi, tekitades enam probleeme järgmise tehnoloogilise sõlme ees.

Kitsamas plaanis saab tõdeda, et järkamisliinil on olemas potentsiaalne võimekus tootmismahu kasvuks, mida saab tagada abioperaatori töölerakendamisel. Andmeanalüüsi käigus selgus, et abioperaator võib vähendada seisakutele kuluvat aega kuni 38 %. Kõige rohkem oleks abioperaatorist kasu materjali tüüpi seisakute lahendamisel. Samas või siis probleemiks osutuda läbilaskevõime piiratus järgmistes tehnoloogilistes sõlmedes. Samuti on küsimus selles, kui suur peaks olema optimaalne ettevõtte tootmismaht, mis vastaks tootmisvõimekusele.

## VIIDATUD KIRJANDUS

- Allas, E.** (21.jaanuar 2016) Kohalikud puiduettevõtted teevad kümnetesse miljonitesse ulatuvaid investeeringuid. – *Lõuna Leht*, lk 3.
- Anforderungen an Duobalken und Triobalken. Vereinbarung über Duobalken/Triobalken. Duobalken/Triobalken. KVH - Duobalken – Triobalken.  
<http://www.kvh.eu/duobalkenr-triobalkenr/vereinbarung-ueber-duobalkenr-triobalkenr/> (14.04.2017)
- Anforderungen an Konstruktionsvollholz KVH. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/anforderungen-an-konstruktionsvollholz-kvhr/> (03.04.2017)
- Crawley, M.J.** (2007). The R book. John Wiley & Sons. 942 pp.
- DUO – TRIO. Tooted. Avaleht. Arcwood by Peetri Puit. <http://www.arcwood.ee/et/duo-trio> (19.02.2016)
- Duobalken® und Triobalken® (Balkenschichtholz) - die Weiterentwicklung für große Querschnitte. Duobalken/Triobalken. KVH - Duobalken – Triobalken.  
<http://www.kvh.eu/duobalkenr-triobalkenr/> (14.04.2017)
- Holzarten. Weitere Eigenschaften von KVH. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/weitere-eigenschaften-von-kvhr/holzarten/> (03.04.2017)
- Kiviste, A.** (2007). Matemaatiline statistika MS Exceli keskkonnas. Tartu. 86 lk.
- Konstruktionsvollholz KVH – exakt definierter Baustoff. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/> (03.04.2017)
- Liimpuit. Tooted. Avaleht. Arcwood by Peetri Puit. <http://www.arcwood.ee/et/liimpuit> (06.02.2016)
- Liimpuitpaneelid. Arcwood by Peetri Puit. <http://www.arcwood.ee/et/liimpuitpaneelid> (06.02.2016)
- Parring, A., Vähi, M., Käärrik, E.** (1997). Statistilise andmetöötluse algõpetus. Tartu Ülikooli Kirjastus. 405 lk.
- Põlva liimpuidufirma laiendab kümne miljoni euroga tootmist (2016).  
<http://majandus24.postimees.ee/3470087/polva-liimpuidufirma-laiendab-kumne-miljoni-euroga-tootmist> (29.03.2017).

- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. (12.05.2017)
- CLT Ristkihtpuit. Tooted. Avaleht. Arcwood by Peetri Puit. <http://www.arcwood.ee/et/ristkihtpuit> (25.02.2016)
- Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Tartu. 560 lk.
- Sertifikaadid. Tooted. Avaleht. Arcwood by Peetri Puit. <http://www.arcwoodbeams.eu/et/sertifikaadid> (19.04.2016)
- SMB MASCHINENBAU GMBH. Anhang Nr.1. 6 S. (käsikiri saksa keeles)
- Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit. Tooted. Avaleht. Arcwood by Peetri Puit. <http://www.arcwoodbeams.eu/et/s%C3%B5rmj%C3%A4tkatud-konstruktsioonpuit> (03.02.2016)
- Technische Regeln. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/technische-regeln/> (03.04.2017)
- Technische Regeln. Technische Regeln. Duobalken/Triobalken. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/technische-regeln/> (03.04.2017)
- Verklebung. Weitere Eigensschaften von KVH. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/weitere-eigenschaften-von-kvhr/verklebung/> (03.04.2017)
- Vorteile der Verwendung von KVH. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/vorteile-der-verwendung-von-kvhr/> (03.04.2017)
- Vorteile von Balkenschichtholz Duobalken® und Triobalken® Balkenschichtholz. Vorteile der Verwendung von Duobalken/Triobalken. Duobalken/Triobalken. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/duobalkenr-triobalkenr/vorteile-der-verwendung-von-duobalkenr-triobalkenr/> (14.04.2017)
- Ökologie und Wohngesundheit. Weitere Eigensschaften von KVH. Konstruktionsvollholz KVH. KVH - Duobalken – Triobalken. <http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/weitere-eigenschaften-von-kvhr/oekologie-und-wohngesundheit/> (03.04.2017)

# **ANALYSIS OF OPERATOR WORKING TIME ON CROSS CUTTING LINE: A CASE STUDY AT THE WOOD INDUSTRY COMPANY**

## **Summary**

Operator cross cutting line work is varied, since data analysis revealed that, on average, every few minutes he has to leave the lumber visual assessment of the workplace in order to carry out any of the relief operation, or ensure cross cutting line uptime. It turned out that the entire operator's main job, working time accounts for approximately 45%.

Type of standstill important material is the result of the outage (downtime  $\approx 37\%$  of the time). This tie-up is the type of work co-operator implementation would benefit the most (about 34%). In this case, abioperaator could act so that no interruption of lumber visual assessment. Co-operator would impact production activity progresses biggest night shifts.

The normal functioning of the production process of the industrial plant ensured if all of its parts work as a whole in the same way. There is no benefit from this, as a part of the supply chain will work much more efficiently when compared to other switches, or on the contrary, its performance is significantly below the other. Ideally, a case is such that each of the following technological capacity has been increased from the previous node. If you look at the production process generally Peetri Puit OÜ, raises in the current working capacity cross cutting line often excessive buffer stocks due to problems. Co-operator's implementing increased productivity would increase the volume of the buffer stock even further, creating more problems for the next technology node before.

In the narrow terms can say that cross-cutting line there is a potential for growth in manufacturing capability, you can ensure co-operator into operation. The data analysis revealed that co-operator can reduce the time spent on a short break to 38%. The biggest benefit of the type of material being co-operator downtime problems. At the same time, or you will become a problem of capacity constraints in technological nodes. It is also a question of how much should be optimal for the company's production capacity to meet the productive capacity.

## **LISAD**



## Lisa 1. Järkusliini seadmete tehnilised andmed

**Tabel 1.** Sõrmjätkuliin TKZ-30/300 tehnilised andmed (Anhang Nr.1)

Puidu pikkus (mm)	700 – 6000
Puidu laius (mm)	80 – 300
Puidu paksus (mm)	30 – 160
Min puidu ristlõige (cm <sup>2</sup> )	37,5
Max puidu ristlõige (cm <sup>2</sup> )	375
Puiduliik	kuusk, mänd
Liim	polüuretaan
Imiventilaatori jõudlus (m/sec.)	30
Vajalik töö rõhk (bar)	6
Elektroenergia :	
ühenduspinge (V)	400
nõrkvoolu pinge (V)	24
elektrivoolu sagedus (Hz)	50
töökõrgus (mm)	1050
koormus vundamendile (kp/cm <sup>2</sup> )	2
Värvus :	
seadmed	ränihall RAL 7032
liikuvad osad	tsinkollane RAL 1018

**Tabel 2.** Hammastapi freesimisseade KTLV-300 tehnilised andmed (Anhang Nr.1)

Puidu laius (mm)	80 – 300
Puidu paksus (mm)	30 – 160
Töödeldava puidu pikkus (mm)	700 – 6000
Rulltee ajami mootori võimsus (kW)	2 x 1,1
Väljaviske transportööri mootori võimsus (kW)	0,55
Ristkett – transportööri mootori võimsus (kW)	2,2
Freesi agregaaadi mootori võimsus (kW)	2 x 30
Servo eendemootori võimsus (kW)	2 x 11
Freesi võlli läbimõõt (mm)	50
Freesi võlli pöörete arv (p/min)	5600
Max freesi löikeinstrumendi läbimõõt (mm)	260
Hüdraulilise mootori võimsus (kW)	22

**Tabel 3.** Automaatse kappsae KK-700 tehnilised andmed (Anhang Nr.1)

Max eendekiirus (m/min)	220
Max ava sissesuunduva saematerjali tarvis (mm)	160 x 300
Min ava sissesuunduva saematerjali tarvis (mm)	20 x 80
Ajami võimsus hammasrihmaüksusele (kW)	11
Sae mootori võimsus (kW)	9
Saeketta läbimõõt (mm)	750
Saevõlli läbimõõt (mm)	30
Õhuühendus	R ½ "

**Tabel 4.** Tapipressi KTP-30/300 tehnilised andmed (Anhang Nr.1)

Pressi võimsus (kp)	30 000
Surumisvõimsus (kp)	45 000
Hüdraulika mootori võimsus (kW)	22+5,5
Õli mahuti (l)	1000
Max etteande kiirus (m/min)	180
Etteande mootorite võimsus (kW)	2 x 3

**Tabel 5.** Pikkussae AS-600 tehnilised andmed (Anhang Nr.1)

Saeketta läbimõõt (mm)	600
Saevõlli läbimõõt (mm)	30
Mootori pöörete arv (p/min)	2800
Mootori võimsus (kW)	7,5

## Lisa 2. Järkusliini operaatori tööaja kronometreerimise *Visual Basicu* (VBA) makro *MS Exceli* keskkonnas kasutamiseks

```
Option Explicit
```

```
Sub REG()                                ' Kasutajafunktsiooni nimi REG
```

```
Dim Aeg As Date                          ' Muutujate tüübid
```

```
Dim Vastus As Integer
```

```
Dim Kas As Boolean
```

```
Dim Var(9) As String
```

```
Var(1) = "Saematerjali paki kohaletoomine järkusliinile töstukiga"
```

```
Var(2) = "Järkusliini seadmete kohandamine mõõduvahetuse puhul"
```

```
Var(3) = "Saematerjali kvaliteedi hindamine (operaatori põhitöö)"
```

```
Var(4) = "Järkusliini seadmetega seotud tõrgete eemaldamine"
```

```
Var(5) = "Järkusliinilt praagitud puidu korrastamine"
```

```
Var(6) = "Puitlamellide koondamine vajaliku lisaruumi saamiseks"
```

```
Var(7) = "Staabliilippide koondamine"
```

```
Var(8) = "Kokkuvõtte tegemine tööpäevast"
```

```
Var(9) = "Muu tegevus"
```

```
ActiveCell = Time
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1) = Date          ' paneb uuele veerule kuupäeva
```

```
ActiveCell.Offset(0, 2) = "Salvestuse käivitus"
```

```
ActiveCell.Offset(1, 0).Select          ' teeb aktiivseks järgmise rea
```

```
Do
```

```
Vastus = Application.InputBox("Tegevus", Type:=1)
```

```
Aeg = Time
```

```
Select Case Vastus
```

```
Case 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 ' Tavaline tegevus
```

```
ActiveCell = Aeg
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1) = Vastus
```

```
ActiveCell.Offset(0, 2) = Var(Vastus)
```

```

        ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Case 9          ' Muu tegevus
    ActiveCell = Aeg
    ActiveCell.Offset(0, 1) = Vastus
    ActiveCell.Offset(0, 2) = InputBox("Mis tegevus?")
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Case 4          ' Tõrke eemaldamine
    ActiveCell = Aeg
    ActiveCell.Offset(0, 1) = Vastus
    ActiveCell.Offset(0, 2) = InputBox("Mis tõrge?")
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select

Case Is < 0      ' Eelmise tegevuse nimetuse parandus

Kas = Application.InputBox("Kas oli vale tegevus?", Type:=4)
If Kas Then      ' Parandame eelmise kirje ära ilma aega muutmata
    Vastus = Application.InputBox("Sisesta tegevus", Type:=1)
    Select Case Vastus
        Case 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 ' Tavaline tegevus
            ActiveCell.Offset(-1, 1) = Vastus
            ActiveCell.Offset(-1, 2) = Var(Vastus)
            ActiveCell.Offset(-1, 3) = "Parandatud"
        Case 9          ' Muu tegevus
            ActiveCell.Offset(-1, 1) = Vastus
            ActiveCell.Offset(-1, 2) = InputBox("Mis tegevus?")
            ActiveCell.Offset(-1, 3) = "Parandatud"
        Case 4          ' Tõrke täpsustus
            ActiveCell = Aeg
            ActiveCell.Offset(-1, 1) = Vastus
            ActiveCell.Offset(-1, 2) = InputBox("Mis tõrge?")
            ActiveCell.Offset(-1, 3) = "Parandatud"
        Case Else
            MsgBox ("Ei muudetud midagi")
    End Select
End If

Case 0
    Kas = Application.InputBox("Kas lõpetada?", Type:=4)

    If Kas Then

```

```

        ActiveCell = Aeg
        ActiveCell.Offset(0, 1) = Vastus
        ActiveCell.Offset(0, 2) = "Lõpetan salvestuse"
        ActiveCell.Offset(1, 0).Select
        Exit Sub
    End If

    Case Else
        MsgBox ("Vale sisestus! Proovi uuesti")
    End Select

Loop

End Sub

```

### Lisa 3. Järkusliini operaatori tööaja andmeanalüüsi R skript

```
#####  
# Liimpuit12B.R (uued andmed, täiendatud koodid) #  
# Korregeeritud andmed sisse 13.04.2016 #  
#####  
  
# Seadista vaikimisi kaust  
Failid<-dir() # Failide loetelu  
NF<-length(Failid) # Failide arv  
  
# Loeme sisse mõõtmiste andmed  
A<-data.frame(NULL) # kõik andmed koos  
  
for (i in 1:NF) {  
  AA<-read.csv(Failid[i],sep=";",stringsAsFactors = FALSE)  
  AA<-subset(AA,select=-X) # Kustutame mittevajaliku tühja tulba  
  AA$Kpv<-Failid[i] # Lisame kuupäeva (tekstina)  
  A<-rbind(A,AA) # Paneme sisestatud andmed tabelisse A  
}  
  
# Kustutame tulbad "parandus" ja "kestvus"  
A<-subset(A,select=-c(parandus, kestvus))  
  
# Arvutame päeva numbrite vektori ja kuu numbrite tunnuse  
A$pv<-as.numeric(substr(A$Kpv,3,4))  
A$kuu<-as.numeric(substr(A$Kpv,1,2))  
A$kuupv<-substr(A$Kpv,1,4)  
  
# Kustustame tulba Kpv, millele pole enam vajadust  
A<-subset(A,select=-Kpv)  
  
# Vaatame, mitu positsiooni on ajale vaja  
table(nchar(A$Aeg))  
  
##### Siia tuleb teha tunnid, minutid ja sekundid!  
  
# Teeme mõned loogilised kontrollid! (igaks juhuks)  
# Tunnus "sek" on NA kui lõpetatakse päeva salvestus  
nrow(subset(A,is.na(sek))) # Päeva salvestusi on 26  
nrow(subset(A,kood=="0")) # Kood=0 kokku 26 korral  
sum(is.na(A$Kontr)) # NA 26 korral  
sum(is.na(A$sek)) # NA 26 korral
```

```

# Kontrollime, kas ajad klapivad
with(A,sum(!is.na(sek) & sek!=Kontr))
# Kontr.aeg<-subset(A,!is.na(sek) & sek!=Kontr)
# Kopeerime tabeli Excelisse
# write.table(Kontr.aeg,"clipboard",sep="\t",row.names=FALSE,dec=",")

subset(A,kood=="2")
# Ühel vaatlusel on eksikombel kood 2 peab olema 4
# Asendame!
A[2819,2]<-4
subset(A,kood=="2")

# Ülevaade koodidest
table(subset(A,nchar(kood)==1)$kood)
nrow(subset(A,nchar(kood)>1) )
nrow(subset(A,tegevus=="Salvestuse käivitus"))
# Üks salvestuse käivitus on puudu
# See on 10.novembri salvestus

# Kustutame andmestikust kõik salvestuse käivituse kirjed
A<-subset(A,tegevus!="Salvestuse käivitus")
table(A$kood)
# Kustutame andmestikust kõik salvestuse lõpu kirjed
# A<-subset(A,kood>0)

# Tööaja summa
with(A,tapply(sek,kood,sum))
sort(with(subset(A,kood>0),tapply(sek,kuupv,sum)))
# Sekundeid vahetuses peab olema
8*60*60
7*60*60

# Arvutame sekundite summa igale vahetusele
zseksum<-with(subset(A,!is.na(sek)),tapply(sek,kuupv,sum))
SekSum<-data.frame(kuupv=names(zseksum),seksum=zseksum)

# Loeme sisse vahetuste üldandmed
VAHETUSED<-read.csv("VahetusAK.csv",sep=";",stringsAsFactors = FALSE)
VAHETUSED<-cbind(VAHETUSED,SekSum)
# Uurime vahetusi
with(VAHETUSED,table(Operaator,VahTekst))

# Ühendame tabeli VAHETUSED andmetega A
AV<-merge(A,VAHETUSED)
table(AV$kood,useNA="ifany")

```

```

subset(AV,kood==0)
# Arvutame andmestikku aja
AV$dt<-with(AV,as.POSIXct(paste(paste(pv,kuu,"2015",sep="."),Aeg),
                           format="%d.%m.%Y %H:%M:%S"))
# Arvutame kontrolliks tegeliku järgmise ja eelmise aja vahed dti
# AV$dti<-rep(0,nrow(AV))
# for (i in 1:(nrow(AV)-1)) {
#   AV$dti[i]<-difftime(AV$dt[i+1],AV$dt[i],units="secs")
#   if (AV$kood[i]==0) AV$dti[i]<-NA
# }
# Vaatame, kas on vigu
# VEAD<-subset(AV,dti-sek!=0)

#####
# Hakkame uurima, kui palju erinevad tegevused aega võtavad
#####
# Kogu mõõtmisaeg
AV<-subset(AV,kood>0) # Kustutame salvestuse lõpud
AV$FVahetus<-factor(AV$Vahetus)
AV$FOperaator<-factor(AV$Operaator)
table(AV$kood,useNA="ifany")
sum(AV$sek)
sum(AV$sek)/3600

# Uuringuaeg vahetuste osas
with(AV,tapply(sek,VahTekst,sum))/3600
AegVah<-with(AV,tapply(sek,VahTekst,sum))
# Uuringuaeg operaatorite osas
with(AV,tapply(sek,Operaator,sum))/3600
AegOp<-with(AV,tapply(sek,Operaator,sum))

# Operaatori põhitöö kood=3

AV3<-subset(AV,kood==3)
sum(AV3$sek) # Kokku operaatori põhitöö
sum(AV3$sek)/3600 # tundides

# Põhitööaeg vahetuste osas
with(AV3,tapply(sek,VahTekst,sum))/3600
TaegVah<-with(AV3,tapply(sek,VahTekst,sum))
# Põhitööaeg operaatorite osas
with(AV3,tapply(sek,Operaator,sum))/3600
TaegOp<-with(AV3,tapply(sek,Operaator,sum))

# Tööaja osatähtsus
TaegVah/AegVah
TaegOp/AegOp

# Kokku operaatori põhitöö

```



```

# Teeme jaotushistogrammi (vaikimisi)
hist(AV3$sek/60,main="",freq=FALSE,xlab="Tööaeg (min)",
      ylab="Töenäosustihedus")
axis(1,at=seq(5,35,10))
nrow(subset(AV3,sek/60<1)) # Tööaja kestus alla 1 min
nrow(subset(AV3,sek/60>=1 & sek/60<2)) # Tööaja kestus 1-2 min
nrow(subset(AV3,sek/60>=2 & sek/60<3)) # Tööaja kestus 2-3 min
nrow(subset(AV3,sek/60>=3 & sek/60<4)) # Tööaja kestus 3-4 min
nrow(subset(AV3,sek/60>=4 & sek/60<5)) # Tööaja kestus 4-5 min

# Lähendame pideva tööaja jaotuse Weibulli funktsiooniga
library(MASS) # sisestame paketi MASS
# Sobitame Weibulli funktsiooni oma andmetega
WP<-fitdistr(AV3$sek/60,"weibull")
WP$estimate
WP$loglik # suurima tõepära logaritm, näitab lähendfunktsiooni sobivust
curve(dweibull(x,shape=WP$estimate[1],scale=WP$estimate[2]),
      from=0,to=40,col="red",lwd=2,add=TRUE)
text(25,0.12,paste("a =",round(WP$estimate[1],3)))
text(25,0.10,paste("b =",round(WP$estimate[2],2)))

# Teeme tööaja jaotushistogrammi sammuga 1 minut

Piirid<-0:40
GH<-hist(AV3$sek/60,breaks=Piirid,plot=FALSE)
plot(GH,freq=FALSE,main="",axes=FALSE,xlab="Tööaeg (min)",col="yellow",
      ylab="Töenäosustihedus")
axis(2)
axis(1,at=seq(0,40,5))
# Lisame Weibulli lähendi
curve(dweibull(x,shape=WP$estimate[1],scale=WP$estimate[2]),
      from=0,to=40,col="red",lwd=1,add=TRUE)
text(20,0.20,paste("a =",round(WP$estimate[1],3)),cex=1.2,pos=4,col=2)
text(20,0.18,paste("b =",round(WP$estimate[2],2)),cex=1.2,pos=4,col=2)

# Aga kas lihtsam eksponentjaotus kah kõlbaks?
EP<-fitdistr(AV3$sek/60,"exponential")
EP$estimate
1/EP$estimate
EP$loglik
WP$loglik
curve(dexp(x,rate=EP$estimate[1]),
      from=0,to=40,col="blue",lwd=1,add=TRUE)
text(20,0.15,paste("c =",round(EP$estimate[1],3)),cex=1.2,pos=4,col=4)
AIC(EP,WP)
# Kui suurel osal juhtumitest on tööaeg alla keskmise
nrow(subset(AV3,sek<mean(sek)))/nrow(AV3)
nrow(subset(AV3,sek<median(sek)))/nrow(AV3)
# Kas pidev töötamise aeg erineb operaatorite ja/või vahetuste lõikes

```

```

# Kuna pidev töötamise aeg on normaaljaotusest tugevasti erinev,
# siis dispersioonanalüüsi eeldused ei ole täidetud
# pideva tööaja logaritmi on lähedane normaaljaotusele
hist(log(AV3$sek),main="",freq=FALSE,xlab="Tööaja (sek) logaritmi",
      ylab="Tõenäosustihedus")

M1<-lm(log(sek)~FVahetus*FOperaator,data=AV3)
summary(M1)
anova(M1)

M2<-kruskal.test(sek~FVahetus,data=AV3)
M2
boxplot(sek/60~VahTekst,data=AV3,notch=TRUE,ylab="Pidev tööaeg (min)",
        outline=FALSE,varwidth=TRUE,names=c("Hommikune","Õhtune","Öine"))
with(AV3,tapply(sek/60,VahTekst,mean))
with(AV3,tapply(sek/60,VahTekst,median))

M3<-kruskal.test(sek~FOperaator,data=AV3)
M3
boxplot(sek/60~Operaator,data=AV3,notch=TRUE,ylab="Pidev tööaeg (min)",
        outline=FALSE,varwidth=TRUE,names=c("OP1","OP2","OP3"))
with(AV3,tapply(sek/60,Operaator,mean))
with(AV3,tapply(sek/60,Operaator,median))

table(AV3$tegevus,useNA="ifany")

#####
# Analüüsime muid tegevusi
# Kõik muud tegevused kood==4
#####
AV4<-subset(AV,kood==4)
table(AV4$Liik,useNA="ifany")
# Asendame Liik=5 asemele 26
AV4$LK<-ifelse(AV4$Liik==5,26,AV4$Liik)
# Asendame lüngad tegevusega 31 ("Arusaamatu")
AV4$LK<-ifelse(is.na(AV4$Liik),31,AV4$LK)
table(AV4$LK,useNA="ifany")
# Loeme sisse tegevuste kooditabeli ja ühendame seisakuandmetega
TGV<-read.csv2("tegevused.csv")
TGV$Tyyp<-factor(TGV$Tyyp,levels=c("Tehnika","Materjal","Operaator","Olme","?"))
names(TGV)[1]<-"LK"
AV4T<-merge(AV4,TGV)
# Kontrollime, kas aegade summa klapi
with(AV,tapply(sek,kood,sum))
Ttyyp<-table(AV4T$Tyyp)
Sttyyp<-with(AV4T,tapply(sek,Ttyyp,sum))

```

```

Styyp/Ttyyp/60
with(AV4T,tapply(sek/60,Ttyyp,median))
sum(Styyp)
Styyp/sum(Styyp)
sum(AV4T$sek)

barplot(Styyp/sum(Styyp),ylab="Osatähtsus")
with(AV4T,tapply(sek/60,Ttyyp,max))

# Kas abioperaator aitab
with(AV3,table(Abi)) # Kontroll!

Ttyyp2<-with(AV4T,table(Abi,Ttyyp))
Styyp2<-with(AV4T,tapply(sek,list(Abi,Ttyyp),sum))
sum(Styyp2)
Styyp2/sum(Styyp2)
sum(Styyp2[2,])/sum(Styyp2)
barplot(Styyp2/sum(Styyp2),ylab="Osatähtsus",col=c("yellow","green"))

# Tehnika
TEHN<-subset(AV4T,Ttyyp=="Tehnika")
TEHN$Tg<-factor(TEHN$Tegevus,levels=c("Üldine","Sõrmjätkuliin","Mahapanija",
    "Liimipea","Kappsaag","Etteveoketid","Tapipress","Muu seade"))
sum(TEHN$sek)
table(TEHN$Tg)
Steg<-with(TEHN,tapply(sek,Tg,sum))
par(mar=c(5,6,2,2)+0.1)
barplot((Steg)/60,hORIZ=TRUE,las=1,xlab="Seisaku aeg (min)")
with(TEHN,tapply(sek,Tegevus,mean))/60
with(TEHN,tapply(sek,Tegevus,median))/60
par(mar=c(5,5,2,2)+0.1)
hist(TEHN$sek/60,breaks=seq(0,100,5),main="",freq=FALSE,xlab="Seisaku aeg (min)",
    ylab="Tõenäosustihedus")
hist(TEHN$sek/60)
# Tehnika erindid (erindiks võtame üle 15 min seisaku)
subset(TEHN,sek/60>15)
par(mar=c(5,6,2,2)+0.1)
boxplot(sek/60~Tg,data=subset(TEHN,sek/60<=15),xlab="Seisaku aeg (min)",
    varwidth=TRUE,horizontal=TRUE,las=1,cex=0.5)

# Materjal
MAT<-subset(AV4T,Ttyyp=="Materjal")
# Teeme faktorite järjestuse loogiliseks
MAT$Tg<-factor(MAT$Tegevus,
    levels=names(sort(table(droplevels(MAT$Tegevus)),
        decreasing=TRUE)))
sum(MAT$sek) # Kontrollime koguaega
table(MAT$Tg)
Steg<-with(MAT,tapply(sek,Tg,sum))

```

```

with(MAT,tapply(sek/60,Tg,sum))
with(MAT,tapply(sek,Tg,sum)/sum(sek))
par(mar=c(5,8,2,2)+0.1)
barplot((Steg)/60,horiz=TRUE,las=1,xlab="Seisaku aeg (min)")
with(MAT,tapply(sek,Tg,mean))/60
with(MAT,tapply(sek,Tg,median))/60

par(mar=c(5,5,2,2)+0.1)
hist(MAT$sek/60,main="",freq=FALSE,xlab="Seisaku aeg (min)",
      ylab="Tõenäosustihedus")

par(mar=c(5,8,2,2)+0.1)
boxplot(sek/60~Tg,data=subset(MAT,sek>0),xlab="Seisaku aeg (min)",
        varwidth=TRUE,horizontal=TRUE,las=1,cex=0.5)

# Operaator
OP<-subset(AV4T,Tyyp=="Operaator")
# Kogemata oli sattunud sisse viga "Töökasu sisestus".
# Asendame õigega
OP$Tg<-ifelse(OP$Tegevus=="Töökasu sisestus","Töökäsu
sisestus",as.character(OP$Tegevus))
OP$Tg<-factor(OP$Tg)
table((OP$Tg))
# Teeme faktorite järjestuse loogiliseks
OP$Tg<-factor(OP$Tg,
              levels=names(sort(table(droplevels(OP$Tg)),
                                decreasing=TRUE))))
sum(OP$sek) # Kontrollime koguaega
table(OP$Tg)
Steg<-with(OP,tapply(sek,Tg,sum))
with(OP,tapply(sek/60,Tg,sum))
with(OP,tapply(sek,Tg,sum)/sum(sek))
par(mar=c(5,9,2,2)+0.1)
barplot((Steg)/60,horiz=TRUE,las=1,xlab="Seisaku aeg (min)")
with(OP,tapply(sek,Tg,mean))/60
with(OP,tapply(sek,Tg,median))/60

par(mar=c(5,5,2,2)+0.1)
hist(OP$sek/60,main="",freq=FALSE,xlab="Seisaku aeg (min)",
      ylab="Tõenäosustihedus")

par(mar=c(5,9,2,2)+0.1)
boxplot(sek/60~Tg,data=OP,xlab="Seisaku aeg (min)",
        varwidth=TRUE,horizontal=TRUE,las=1,cex=0.5)

# Olme
OL<-subset(AV4T,Tyyp=="Olme")
OL<-droplevels(OL)

```

```
table(OL$Tegevus)
```

```
sum(OL$sek) # Kontrollime koguaega
Steg<-with(OL,tapply(sek,Tegevus,sum))
with(OL,tapply(sek/60,Tegevus,sum))
with(OL,tapply(sek,Tegevus,sum)/sum(sek))
par(mar=c(5,6,2,2)+0.1)
barplot((Steg)/60,horiz=TRUE,las=1,xlab="Seisaku aeg (min)")
with(OL,tapply(sek,Tegevus,mean))/60
with(OL,tapply(sek,Tegevus,median))/60
```

```
par(mar=c(5,5,2,2)+0.1)
hist(OL$sek/60,main="",freq=FALSE,xlab="Seisaku aeg (min)",
     ylab="Tõenäosustihedus")
```

```
par(mar=c(5,8,2,2)+0.1)
boxplot(sek/60~Tegevus,data=OL,xlab="Seisaku aeg (min)",
        varwidth=TRUE,horizontal=TRUE,las=1,cex=0.5)
LOUNA<-subset(OL,Tegevus=="Lõuna")
subset(OL,Tegevus=="Lõuna", select=c(kuupv,Aeg,tegevus,sek,Tegevus))
# Vaatan, kus on "valmistumine pausiks"
subset(OL,tegevus=="valmistumine pausiks")
#Asendan selles Tegevus "Lõuna" Tegevus "Paus"
OL$Tg<-factor(with(OL,ifelse(tegevus=="valmistumine pausiks",
                             "Paus",as.character(Tegevus))))
boxplot(sek/60~Tg,data=OL,xlab="Seisaku aeg (min)",
        varwidth=TRUE,horizontal=TRUE,las=1,cex=0.5)
```